



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RC 14-1501

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK PRATEKAN DAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP. 03111.6450.00054

Dosen Pembimbing 1 :
Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP.19500403 197603 1 003

Dosen Pembimbing 2 :
Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D
NIP. 19700327 199702 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK PRATEKAN DAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP. 03111.6450.00054

Dosen Pembimbing 1 :
Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP.19500403 197603 1 003

Dosen Pembimbing 2 :
Prof. Tavo., ST., MT., Ph.D
NIP. 19700327 199702 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT (RC14-1501)

***STRUCTURE MODIFICATION DESIGN OF SMP
MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA BUILDING USING
PRESTRESSING BEAMS AND SPECIAL MOMENT
RESISTING FRAME SYSTEM***

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP. 03111.6450.00054

Counsellor Lecturer 1 :
Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP. 19500403 197603 1 003

Counsellor Lecturer 2 :
Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D
NIP. 19700327 199702 1 001

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering Environment and Earth
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA DENGAN MENGUNAKAN BALOK PRATEKAN DAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP. 03111645000054

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Ir. I Gusti Putu Rakaet, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19500403 197603 1 003
Pembimbing I
2. Prof. Tawio., ST., MT., Ph.D.
NIP. 19700327 199702 1 001
Pembimbing II

**SURABAYA,
JULI, 2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK PRATEKAN DAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

Nama Mahasiswa : Aldo Zulfikar Indo

NRP : 03111645000054

Jurusan : Teknik Sipil FTSP ITS

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. I Gusti Putu Raka

Dosen Pembimbing 2 : Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Bangunan gedung yang ditinjau penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya. Gedung ini memiliki 12 lantai dengan tinggi bangunan 49 m. Dimana pada lantai 12 terdapat aula dengan bentang tanpa kolom sepanjang 16,85 m. Sebagai solusi dari struktur ruang aula tersebut maka diperlukan perencanaan balok pratekan.

Selain balok pratekan perencanaan juga memperhitungkan kondisi kegempaan yang ada. Berdasarkan identifikasi data tanah hasil uji Standart Penetration Test (SPT) dan Peta Hazard 2017, diketahui bahwa Kota Surabaya merupakan wilayah dengan jenis tanah lunak serta memiliki nilai respon spektra percepatan 0,2 detik sebesar 0,3g dan nilai Sds sebesar 0,468 sehingga masuk kondisi desain seismik D (KDS D). Dengan kondisi tanah yang masuk KDS D, maka struktur bangunan direncanakan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Desain struktur pada bangunan ini meliputi perhitungan struktur atas dan struktur bawah. Dimana struktuktu atas terdiri dari perhtungan kolom, balok, pelat lantai, tangga. Sedangkan struktur bawah terdiri dari perhitungan sloof, poer, dan fondasi. Untuk material dalam perencanaan struktur menggunakan mutu

bahan : $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, $f_y = 400 \text{ Mpa}$. Perhitungan yang dilakukan dalam tugas akhir ini mengacu pada peraturan yang ditetapkan pada SNI 2847-2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa, dan SNI 1727-2013 untuk beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain.

Dari perhitungan yang dilakukan akan dituangkan dalam bentuk laporan perhitungan struktur dengan disertai gambar teknik yang dapat dijadikan acuan dalam pembangunan.

Kata kunci : Balok Pratekan, KDS, Desain Struktur, SRPMK.

STRUCTURE MODIFICATION DESIGN OF SMP MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA BUILDING USING PRESTRESSING BEAMS AND SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM

Student : Aldo Zulfikar Indo
NRP : 03111645000054
Faculty : Teknik Sipil FTSLK ITS
Counselleor Lecturer 1 : Prof. Ir. I Gugsti Putu Raka.
Counselleor Lecturer 2 : Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Building the building reviewed by the author in the preparation of this final project is the building SMP Muhammadiyah 5 Surabaya. This building has 12 floors with 49 m high building. Where on the 12th floor there is a hall with span without columns along 16.85 m. As a solution of the hall space structure is required prestressed beam planning.

In addition to prestressing beams the planning also takes into account existing seismic conditions. Based on the identification of soil data of test results of Standard Penetration Test (SPT) and Hazard Map 2017, it is known that Surabaya is an area with soft soil type and has a response value of 0.2 second acceleration spectra of 0.3g and Sds value of 0.468 so that enter design conditions seismic D (KDS D). With the condition of land entering KDS D, then the structure of the building is planned with the method of Special Moment Frame System (SRPMK).

The structural design of this building includes the calculation of the upper and lower structures. Where the upper structure consists of columns, beams, floor plates, stairs. While the bottom structure consists of calculations sloof, poer, and the foundation. For materials in structural planning use the material quality: $f_c' = 30$ Mpa, $f_y = 400$ Mpa. The calculations performed in this thesis refers to the regulations set forth in SNI 2847-2013 on the requirements of structural concrete for building structures,

SNI 1726-2012 on earthquake resistance planning procedures, and SNI 1727-2013 for minimum loads for the planning of buildings and structures other.

From the calculations performed will be poured in the form of structural calculation report with accompanied by a technique that can be used as a reference in development.

Keywords : Prestressed Beam, KDS, Structure Design, SRPMK.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberi kesehatan dan kekuatan untuk menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir Terapan ini. Tidak lupa shalawat serta salam penulis limpahkan kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW.

Penyusunan tugas akhir ini diajukan oleh penulis dalam rangka memenuhi persyaratan akademik untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada tahun ajaran 2017-2018, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Adapun judul dari tugas akhir ini adalah **“Desain Modifikasi Struktur Gedung Smp Muhammadiyah 5 Surabaya Dengan Menggunakan Balok Pratekan Dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus”**

Tugas akhir ini merupakan syarat untuk mengikuti sidang yang akan dilaksanakan pada tanggal 11 Juli 2018. Oleh karena itu, penulis juga sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat beberapa kekurangan sehingga penulis mengharap kritik dan saran demi evaluasi bagi penulis kedepannya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 11 Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Beton Pratekan	5
2.1.1 Sistem Balok Pratekan	5
2.1.2 Tahap Pembebanan	7
2.1.3 Kehilangan Prategang	7
2.1.4 Desain Penampang	16
2.2 Identifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	20
2.4 Preliminary Design	23
2.4.1 Struktur Primer	23
2.4.2 Struktur Sekunder.....	25
2.4.3 Struktur Pondasi.....	29
2.4 Pembebanan	30
2.4.1 Beban Mati.....	31
2.4.2 Beban Hidup	31
2.4.3 Beban Angin	32
2.4.4 Beban Gempa.....	33

2.4.5 Kombinasi Pembebanan.....	40
2.5 Perhitungan Penulangan Struktur.....	41
2.5.1 Struktur Sekunder.....	41
2.5.2 Struktur Primer.....	43
2.5.3 Struktur Pondasi.....	60
BAB 3 METODOLOGI.....	65
3.1 Studi Literatur.....	66
3.2 Pengumpulan data bangunan eksisting.....	67
3.2.1 Data Bangunan.....	67
3.2.2 Data Material.....	67
3.2.3 Data Tanah.....	67
3.3 Preliminary Design.....	67
3.4 Penetapan kriteria desain.....	68
3.5 Perhitungan struktur sekunder.....	68
3.6 Permodelan Struktur Bangunan.....	68
3.6.1 Pembebanan Struktur Bangunan.....	68
3.6.2 Kombinasi Pembebanan.....	72
3.6.3 Kontrol Permodelan Struktur.....	73
3.7 Analisa Gaya Dalam.....	73
3.7.1 Analisa gaya dalam elemen pratekan.....	73
3.7.2 Analisa gaya dalam elemen non-pratekan...	76
3.8 Hubungan Balok Kolom.....	76
3.9 Detail Perhitungan Struktur Fondasi.....	76
3.10 Gambar Perencanaan.....	77
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	79
4.1 Perencanaan Dimensi (Preliminary Design).....	79
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	79
4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom.....	82
4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat.....	87
4.1.4 Perencanaan Dimensi Tangga.....	93
4.1.5 Perencanaan Dimensi Sloof.....	96
4.2 Penetapan kriteria desain.....	97
4.3 Permodelan struktur.....	100
4.3.1 Pembebanan Struktur.....	100

4.3.2 Kombinasi Pembebanan.....	118
4.3.3 Kontrol Permodelan struktur.....	119
4.4 Detail Perhitungan Struktur	129
4.4.1 Detail Perhitungan Struktur Sekunder.....	129
4.4.2 Detail Perhitungan Struktur Primer.....	136
4.3.4 Detail Perhitungan Struktur Bawah.....	348
BAB 5 RINGKASAN DAN SARAN	369
5.1. Ringkasan.....	369
5.2. Saran	373
DAFTAR PUSTAKA.....	xix
BIODATA PENULIS.....	xx

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (Ss) di batuan dasar (Sb) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun	21
Gambar 2.2 : Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S1) di batuan dasar (Sb) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun	21
Gambar 2.3. Desain geser balok.....	51
Gambar 2.4. Desain geser kolom	59
Gambar 4.1 Denah Balok Induk yang ditinjau.....	79
Gambar 4.2 Denah Balok pratekan yang ditinjau	80
Gambar 4.3 Denah Balok Anak yang ditinjau.....	81
Gambar 4.4 Denah Kolom Tipe 1 yang ditinjau	82
Gambar 4.5 Denah perencanaan tangga tipe 1	94
Gambar 4.6 : Denah Sloof Memanjang yang Ditinjau	97
Gambar 4.7 : Nilai Kecepatan Angin Dasar Kota Surabaya	108
Gambar 4.8 Plat tinjau lantai 1-12.....	129
Gambar 4.9 Denah balok induk tinjau.....	136
Gambar 4.10 Luasan Acp dan Aoh	139
Gambar 4.11 Denah balok anak tinjau	165
Gambar 4.12 Luasan Acp dan Aoh	167
Gambar 4.13 Luasan Acp dan Aoh	194
Gambar 4.14 Denah balok penumpu lift tinjau	222
Gambar 4.15 Luasan Acp dan Aoh	224
Gambar 4.16 Denah sloof tinjau.....	249
Gambar 4.17 Luasan Acp dan Aoh	252
Gambar 4.18 Kolom tinjau.....	279
Gambar 4.19 Diagram interaksi P-M kolom K1 atas as 6-A.....	283
Gambar 4.20 Diagram interaksi P-M kolom K1 bawah as 6-A	283
Gambar 4.21 Output gaya kolom K1 atas as 6-A.....	284
Gambar 4.22 Output gaya kolom K1 bawah as 6-A	285
Gambar 4.23 Output momen nominal kolom K1 atas as 6-A ...	290

Gambar 4.24 Output momen nominal kolom K1 bawah as 6-A	290
Gambar 4.25 Denah tangga tinjau	293
Gambar 4.26 Denah balok pratekan tinjau	297
Gambar 4.27 Luasan Acp dan Aoh	313
Gambar 4.28 Geser pons satu arah akibat kolom	356
Gambar 4.29 Geser pons dua arah akibat kolom	357
Gambar 4.30 Panjang jepit kritis tanah	361
Gambar 4.31 Mn tiang pancang	362
Gambar 4.32 Permodelan pondasi lift	365

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.	24
Tabel 2.2 : Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.	26
Tabel 2.3 : Tebal minimum pelat tanpa balok interior	28
Tabel 2.4 : Klasifikasi Situs	34
Tabel 2.5 :Koefisien situs, F_a	35
Tabel 2.6 : Koefisien situs, F_v	36
Tabel 2.7 : Faktor Keutamaan Gempa.....	37
Tabel 2.8. Faktor R, Cd, untuk sistem penahan gaya gempa	38
Tabel 2.9. Rasio tulangan susut dan suhu.....	42
Tabel 2.10. Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir	55
Tabel 2.11. Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir	62
Tabel 4.1 Interpolasi nilai F_a	99
Tabel 4.2 Interpolasi nilai F_v	99
Tabel 4.3 : Faktor Arah Angin (K_d).....	108
Tabel 4.4 : Menentukan Nilai Koefisien Tekanan Dinding (C_p)	111
Tabel 4.5 Berat total bangunan.....	113
Tabel 4.6 Interpolasi nilai F_a	115
Tabel 4.7 Interpolasi nilai F_v	115
Tabel 4.8 Berat total struktur output ETABS.....	119
Tabel 4.9 Base shear output ETABS.....	122
Tabel 4.10 Base shear output ETABS setelah terskala	122
Tabel 4.11 Kontrol simpangan arah X	123
Tabel 4.12 Kontrol simpangan arah Y	124
Tabel 4.13 Displacement arah X	125
Tabel 4.14 Displacement arah Y	126
Tabel 4.15 Interpolasi koefisien momen plat	131
Tabel 4.16 Output gaya kolom K1 bawah.....	280
Tabel 4.17 Output gaya kolom K1 atas	281

Tabel 4.18 Kehilangan gaya prategang pada tiap tahap	309
Tabel 4.19 Daya dukung satu tiang metode Mayerhoff	349
Tabel 4.20 Kebutuhan tiang akibat beban aksial	350
Tabel 4.21 Rekap geser pons poer.....	360
Tabel 5.1 : Rekapitulasi plat 1.....	369
Tabel 5.2 : Rekapitulasi Penulangan tangga.....	369
Tabel 5.3 : Rekapitulasi Penulangan Balok Bordes	370
Tabel 5.4 : Rekapitulasi Penulangan Sloof.....	370
Tabel 5.5 : Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 1-4	370
Tabel 5.6 : Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 5-9	371
Tabel 5.7 : Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 10-12	371
Tabel 5.8 : Rekapitulasi Balok Lantai Atap	371
Tabel 5.9 : Rekapitulasi penulangan kolom	372
Tabel 5.10 : Rekapitulasi pilecap	372

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan gedung yang ditinjau dalam penyusunan tugas akhir ini adalah gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya. Gedung ini memiliki 12 lantai dengan tinggi bangunan 49,8 m. Dimana pada lantai 12 terdapat aula dengan bentang tanpa kolom sepanjang 16,85 m yang didesain menggunakan struktur baja.

Penggunaan Struktur baja pada aula ini merupakan salah satu pilihan yang dapat diambil. Namun, harus diketahui bahwa terdapat kelemahan pada struktur baja yang digunakan untuk bentang yang besar. Resiko yang pasti terjadi pada penggunaan baja adalah korosi. Korosi ini sangat berdampak buruk pada struktur karena dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Meskipun pada beberapa kasus korosi dapat dikurangi dengan memberikan lapisan antikorosi, namun hal ini tetap tidak dapat memastikan elemen baja tersebut tidak mengalami korosi. Selain korosi, kelemahan baja yang lain adalah lendutan pada struktur struktur tidak dapat dikontrol dengan baik. Hal ini diakibatkan pada elemen struktur baja pasti terjadi tegangan tarik yang tidak dapat dihindari sehingga lendutan pasti terjadi

Sebagai solusi dari kelemahan struktur baja pada ruang aula SMP Muhammadiyah 5 Surabaya maka diperlukan perencanaan beton pratekan. Karena terbuat dari beton maka potensi korosi pada elemen struktur tidak akan terjadi. Selain itu pada beton pratekan dapat didesain agar tidak terjadi lendutan dengan memberikan gaya pratekan pada tendon. Jika lendutan tidak ada maka dapat dipastikan pada elemen balok pratekan tidak akan mengalami retak yang dapat membahayakan struktur.

Selain segi keamanan struktur penggunaan balok pratekan ini juga bertujuan agar aula tidak memerlukan kolom pada tengah bentang sehingga pengguna dapat menggunakan lebih nyaman. Oleh sebab itu, penggunaan beton pratekan merupakan solusi yang tepat untuk menggantikan struktur baja pada aula SMP Muhammadiyah 5 Surabaya . Kemudian untuk mencapai desain yang optimum maka perlu direncanakan dimensi balok yang cukup, penulangan, dan pendetailan tendon pratekan yang baik sehingga balok pratekan dapat berfungsi secara optimal.

Selain penggunaan balok pratekan pada aula gedung, perencanaan struktur bangunan juga harus mempertimbangkan desain bangunan dengan adanya beban gempa. Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.2.1 tabel 1 dengan meninjau jenis pemanfaatan bangunan, maka gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya termasuk kategori resiko IV. Sementara berdasarkan peta hazard Indonesia lokasi kota Surabaya memiliki nilai respon spektra percepatan 0,2 detik sebesar 0,6-0,7g dan nilai respon spektra percepatan 1,0 detik sebesar 0,2-0,25g yang keduanya untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun. Berdasarkan data tanah SPT di lokasi pucang diketahui bahwa situs tanah teridentifikasi sebagai tanah sedang. Dari data tanah tersebut berdasarkan ketentuan SNI 1726-2013 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung pasal 6.5 kriteria bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya termasuk dalam kategori Desain Seismik (KDS) tipe D. Kondisi ini menunjukkan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya perlu direncanakan dengan perhitungan menggunakan metode SRPMK.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dibuat perumusan masalah sebagai berikut :

Bagaimana merencanakan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan struktur balok pratekan dan sistem rangka pemikul momen khusus(SRPMK)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Tidak menghitung aspek ekonomis dan biaya konstruksi
2. Tidak memperhitungkan sistem utilitas bangunan, instalasi air bersih, instalasi air kotor, instalasi listrik, finishing, dan sebagainya.
3. Tidak meninjau manajemen konstruksi, maupun segi arsitektural.

1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk mencapai tujuan :
Mampu merencanakan gedung dengan struktur balok pratekan dan sistem rangka pemikul momen khusus(SRPMK).

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir Terapan ini yaitu :

1. Untuk meningkatkan kemampuan dalam perencanaan struktur beton bangunan gedung sesuai fungsi dan kebutuhan bangunan, wilayah kegempaan, dan aturan perencanaan sesuai Standar Nasional Indonesia.
2. Untuk mengaplikasikan desain balok pratekan pada bangunan gedung
3. Dapat merencanakan struktur bangunan gedung dengan metode SRPMK
4. Untuk mengaplikasikan ilmu yang didapat selama perkuliahan yang berkaitan dengan teori dan perencanaan struktur beton dengan data gedung yang sebenarnya.

“Halaman ini sengaja dikosongi”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

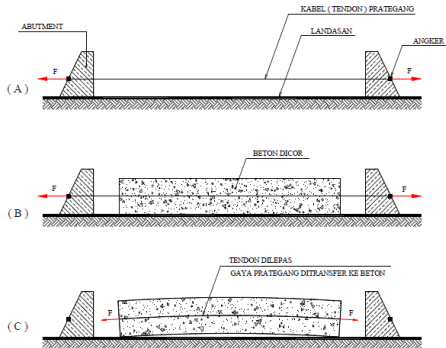
2.1 Beton Pratekan

Beton Prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu (T.Y Lin, 2000). Beton Prategang juga dapat disimpulkan sebagai beton structural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban (SNI 2847:2013)

2.1.1 Sistem Balok Pratekan

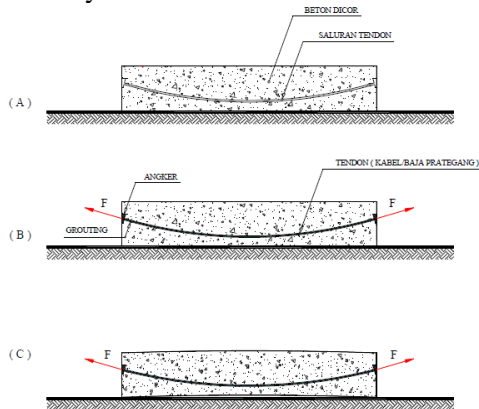
Ada beberapa macam sistem beton prategang ditinjau dari berbagai segi, yaitu :

- Ditinjau dari cara penarikan
Beton prategang pada dasarnya dibagi menjadi dua menurut cara penarikan (Nawy, 2001) yaitu:
 1. Beton Prategang metode Pratarik
Sistem pemberian gaya prategang pada beton pratekan dengan menarik baja prategang (tendon) terlebih dahulu sebelum dilakukannya pengecoran. Cara ini sering digunakan di laboratorium atau pabrik beton pracetak (Precast Prestressed Concrete) dimana terdapat lantai penahan tarikan yang tetap atau di lapangan dimana dinding penahan dapat dibuat secara ekonomis



2. Beton Prategang metode pascatarik

Sistem pemberian gaya prategang pada beton yang metodenya dilakukan dengan cara menarik baja prategang (tendon) setelah balok dicor dan mencapai sebagian besar dari kuat betonnya



• Ditinjau dari keadaan distribusi tegangan pada beton

1. Full prestressing

Suatu sistem yang dibuat sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi adalah tekan pada seluruh tampang. Secara teoritis sistem ini tidak memerlukan penulangan pasif

2. Partial prestressing

Beton prategang parsial adalah beton dengan kombinasi strand prategang dan tulangan biasa dalam memikul beban, sehingga kabel baja prategang bekerjasama dengan tulangan masif dengan tujuan agar struktur berperilaku lebih daktail

2.1.2 Tahap Pembebanan

Beton prategang memiliki dua tahap pembebanan yaitu tahap transfer dan servis. Pada kedua tahap ini harus dilakukan pengecekan tegangan tarik dan tekan pada penampang agar tidak melebihi tegangan izin.

1. Tahap Transfer

Untuk metode pretarik, tahap transfer ini terjadi pada saat anker dilepas dan gaya prategang direansfer ke beton. Untuk metode pascatarik, tahap transfer ini terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel prategang. Pada saat ini beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan peralatan.

2. Tahap Servis

Pada tahap ini beban luar seperti live load, angin, gempa dll. Mulai bekerja, sedangkan pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan didalam analisa strukturnya.

Pada setiap tahap pembebanan pada beton prategang harus selalu dianalisis terhadap kekuatan, daya layan, lendutan terhadap lendutan izin, nilai retak terhadap nilai batas yang diizinkan.

2.1.3 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat stressing. Reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu

1. Kehilangan langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari

- a. Kehilangan akibat perpendekan elastis
 - b. Kehilangan akibat pengankuran
 - c. Kehilangan akibat gesekan (Wobble effect)
 - d. Kehilangan akibat kekangan kolom
2. Kehilangan yang bergantung pada waktu (kehilangan tidak langsung)

Kehilangan prategang yang bergantung pada waktu disebut sebagai kehilangan prategang secara tidak langsung hal ini dikarenakan hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat jacking), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut

- a. Kehilangan akibat susut
- b. Kehilangan akibat rangkai
- c. Kehilangan akibat relaksasi baja

2.1.3.1 Kehilangan Prategang Langsung

- a. Kehilangan akibat perpendekan elastis

Akibat gaya jacking yang terjadi oleh tendon prategang maka beton akan mengalami perpendekan elastis (karena tekanan gaya prestress yang cukup besar), struktur balok akan memendek dan kabel juga ikut mengalami perpendekan yang menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada kontruksi pascatarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan, karena penarikan kabel hanya terjadi satu kali dan tidak ada tendon awal yang mengalami perpendekan dan kehilangan akibat tarikan tendon terakhir (Nawy, 2000). Namun, jika tendon lebih dari satu dan ditarik berurutan (tidak bersamaan) maka perpendekan elastis dapat dicari dengan rumus berikut:

Untuk tendon sentris

$$\Delta f_s = \frac{nF_0}{A_c}$$

F_0 = jumlah kehilangan tendon ke $i \times A_{sp} \times f_{pi}$

$$ES = \frac{\sum_{i=1} \Delta f_{s_i}}{\text{jumlah tendon}}$$

Dimana :

Δf_s = Kehilangan tegangan pada satu tendon

n = E_s/E_{ci}

A_{sp} = Luasan penampang kabel

f_{pi} = tegangan saat jacking

A_c = Luas kotor penampang – Luas tulangan = $A_g - A_s$

Untuk tendon eksentris

$$ES = n f_{cir}$$

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A_g} + \frac{F_0 e^2}{I} - \frac{M_g e}{I}$$

Dimana:

F_0 = $0,9 F_i$

M_g = Momen akibat berat sendiri balok

e = eksentrisitas antara tendon ke cgc

A_g = Luas penampang kotor

I = Inersia penampang

b. Kehilangan akibat wobble effect dan gesekan

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi di antara tendon dan bahan-bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam alinyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai wobble effect. Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_0 di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak L di sepanjang bentang. Sedangkan, efek Wobble mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen di sepanjang tendon

(Nawy, 2000). Kehilangan akibat wobble effect dihitung dengan rumus :

$$F_2 = F_1 \times e^{-(\mu \times \alpha + K \times L)}$$

Atau dinyatakan dengan tegangan

$$f_2 = f_1 \times e^{-(\mu \times \alpha + K \times L)}$$

$$\Delta f_{pF} = f_1 - f_2 = f_1 (1 - e^{-(\mu \times \alpha + K \times L)})$$

Sudut kelengkungan diasumsikan bahwa tendon parabolik mendekati busur lingkaran dengan rumus berikut :

$$\alpha = \frac{8f}{L} \text{ dengan } f \text{ adalah panjang fokus tendon (dari egs)}$$


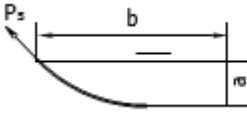

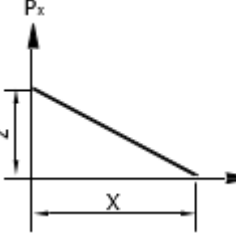
Tipe Tendon	Koefisien Wobble K tiap meter	Koefisien Kelengkungan μ
Tendon pada selubung Logam fleksibel		
Tendon kawat	0,0033-0,0049	0,15-0,25
Strand dengan untaian 7 kawat	0,0016-0,0066	0,15-0,25
Batang baja mutu tinggi	0,0003-0,002	0,08-0,3
Tendon pada selubung Logam kaku		
Strand dengan untaian 7-kawat	0,0007	0,15-0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7-kawat	0,001-0,0066	0,05-0,15
Tendon yang diberi lapisan mastik		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7-kawat	0,0033-0,0066	0,05-0,15

(Sumber : Desain struktur beton prategang edisi 3, T.Y.Lin)

c. Kehilangan akibat slip angkur

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang teralihkan ke angkur. Pada metode pascatarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya jacking dialihkan ke angkur. Perlengkapan dalam angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit (Nawy, 2000).

$$P_s = 2E_p \frac{d}{X}$$

Profil tendon	Gambar	$\lambda = \frac{\mu\alpha + KX}{X}$	X jika kurang dari L
Linear		$\lambda = KX$	$X = \sqrt{\frac{E_p d}{K P_x}}$
Parabolis		$\lambda = \frac{2\mu a}{b^2} + K$	$X = \sqrt{\frac{E_p d}{\left(\frac{2\mu a}{b^2} + K\right) P_x}}$
Melingkar		$\lambda = \frac{\mu}{R} + K$	$X = \sqrt{\frac{E_p d}{\left(\frac{\mu}{R} + K\right) P_x}}$
Bentuk lain		$\lambda = \left(\frac{Z}{L}\right) \frac{1}{P_x}$	$X = \sqrt{\frac{E_p d}{\left(\frac{Z}{L}\right) P_x}}$

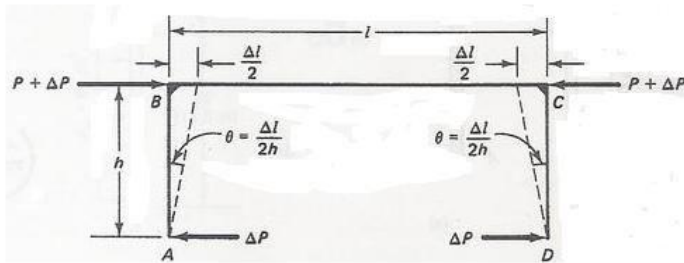
Dimana :

- E_p = Modulus elastisitas baja prategang
- d =Penyetelan ankur
- μ =Koef. Geser tendon
- K = Koef. Wobble
- a = Eksentrisitas tendon ke cgs
- b = $L.balok/2$
- d = panjang ankur set

d. Kehilangan prategang akibat kekangan kolom

Konstruksi beton prategang dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan prategang akibat kekangan kolom. Hal ini dapat terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekakuan kolom, gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok prategang maka semakin besar gaya prategang yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi, demikian pula jika kolom didisain tidak kaku maka semakin kecil gaya kehilangan prategang balok akibat kekangan dan semakin kecil momen yang diterima kolom akibat gaya jacking yang terjadi (Nawy, 2000)



Rumus akibat kekangan kolom dinyatakan dalam :

$$\Delta P = \frac{M_B - M_A}{h}$$

Berdasar gambar di atas besarnya gaya yang hilang akibat kekangan dapat dihitung sebagai ΔP dengan persamaan di atas dimana M_B dan M_A adalah momen muka kolom pada titik A dan titik B akibat gaya P yang bekerja.

2.1.3.2 Kehilangan Prategang Tidak Langsung

a. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja

Tendon low relaxation mengalami kehilangan pada gaya prategang sebagai akibat dari perpanjangan konstan terhadap waktu dengan kehilangan yang lebih kecil dibanding dengan tendon strand relieved. Besarnya pengurangan gaya prategang tidak hanya pada durasi gaya prategang yang ditahan, melainkan juga pada ratio antara prategang awal dan tegangan leleh tendon prategang $\frac{f_{ci}}{f_{py}}$ dimana f_{ci} adalah tegangan

prategang awal setelah jacking dan kehilangan langsung dengan nilai yang sesuai dengan tegangan ijin tendon, sedangkan nilai $f_{py} = 0.9 f_{pu}$ untuk tendon low relaxation (Nawy Edward, 2001). Jika nilai ratio tegangan antara prategang awal dengan tegangan leleh tendon prategang kurang dari 0.55 maka kehilangan akibat relaksasi baja sangat terjadi bahkan tidak

terjadi kehilangan akibat relaksasi baja. Untuk menghitung kehilangan relaksasi baja maka digunakan rumusan berikut:

$$RE=[K_{re}-J(SH+CR+ES)]C$$

Jenis tendon	K_{RE}	J
Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 270	20000	0,15
Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 250	18500	0,14
Kawat <i>stress-relieved</i> mutu 240 atau 235	17600	0,13
<i>Strand</i> relaksasi rendah mutu 270	5000	0,04
Kawat relaksasi rendah mutu 250	4630	0,037
Kawat relaksasi rendah mutu 240 atau 235	4400	0,035
Batang <i>stress-relieved</i> mutu 145 atau 160	6000	0,05

(Sumber : Desain struktur beton prategang edisi tiga, T.Y Lin)

Nilai C adalah perbandingan f_{pi} / f_{pu}

f_{pi}/f_{pu}	Strand atau kawat Stress-relieved	Batang stress relieved atau Strand atau kawat relaksasi-rendah
0,8		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41

0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

(Sumber : Desain struktur beton prategang edisi tiga, T.Y Lin)

Rumus kehilangan akibat relaksasi baja adalah sebagai berikut :

$$F_{PRE} = RE \times Ap$$

Dimana :

F_{PRE} = Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja (Mpa)

Ap = luas area baja (mm²)

b. Kehilangan prategang akibat rangkak (Creep) K_{re}

c. Kehilangan prategang akibat susut (Shrinkage)

Susut pada beton adalah regangan yang terjadi akibat penguapan air yang bergantung pada kelembapan, ukuran bentuk penampang dan waktu. Kehilangan prategang akibat susut untuk komponen struktur pascatarik bernilai lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian gaya prategang.

Rangkak, susut dan relaksasi baja prategang akan memberikan tambahan lendutan yang terjadi akibat lendutan seketika sejalan dengan bertambahnya waktu serta akan menyebabkan kehilangan gaya prategang. Pertambahan lendutan akibat rangkak dan susut ini akan tergantung dari besarnya koefisien rangkak dan regangan susut yang terjadi, sedangkan besarnya koefisien rangkak dan regangan susut sangat dipengaruhi oleh kelembapan relatif, perawatan beton, umur beton pada saat di bebani, rasio Antara volume-keliling penampang, slump beton, kadar agregat dan kadar udara (Sutarja, 2006). Rumus menghitung susut adalah sebagai berikut :

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)$$

Jangka waktu setelah perawatan basah sampai pada penerapan prategang,hari	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{sh}	0,92	0,85	0,8	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

(Sumber: Desain struktur beton prategang edisi tiga, T.Y Lin)

Dimana :

RH = Kelembaban udara relatif = 80% (untuk kota surabaya)

V/S = Perbandingan volume terhadap luas permukaan balok

2.1.4 Desain Penampang

2.1.4.1 Kontrol momen retak

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok pratekan dihitung dengan teori elastik dengan dianggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya. Sehingga kuat ultimate beton pratekan harus memenuhi SNI 2847:2013 pasal 18.8.2.

Modulus retak = $0,62\lambda\sqrt{f'c}$

$$M_{cr} = F \cdot e + \frac{F \cdot I}{A \cdot y_b} + \frac{f_r \cdot I}{y_b}$$

$$M_{cr} = F \cdot e + \frac{F}{A} W_b + f_r \cdot W_b$$

Syarat :

$$\phi M_u \geq 1,2 M_{cr}$$

2.1.4.2 Kontrol lendutan

Kontrol lendutan dilakukan dengan lendutan izin seperti yang disyaratkan pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.4

$$\Delta_{izin} = \frac{L}{480}$$

a. Lendutan saat peralihan

Beban yang bekerja pada tahap ini adalah berat sendiri balok, plat,

Akibat gaya pratekan

$$\Delta_{\text{gaya pratekan}} = \frac{P.e.L^2}{8.E.I}$$

Akibat beban searah gravitasi

$$\Delta_{\text{gravitasi}} = \frac{5.w_D.L^4}{384.E.I}$$

b. Lendutan jangka panjang

Akibat gaya pratekan

$$\Delta_{\text{gaya pratekan}} = \frac{P.e.L^2}{8.E.I} \times \text{angka pengali}$$

Akibat beban tetap (berat sendiri balok, beban plat)

$$\Delta_{\text{beban tetap}} = \frac{5.w_D.L^4}{384.E.I} \times \text{angka pengali}$$

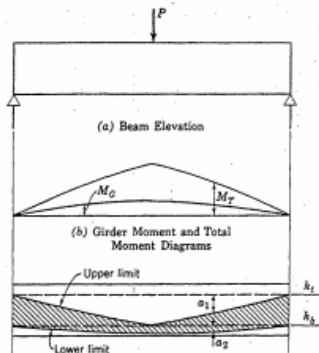
	Tanpa lapisan atas komposit	Dengan lapisan atas komposit
Saat pengangkatan		
1. Komponen lendutan(ke bawah) digunakan untuk lendutan elastik akibat berat komponen struktur saatn pelepasan gaya rategang	1,85	1,85
2. Komponen lendutan(ke atas) digunakan untuk lendutan elastik ke	1,80	1,80

atas akibat gaya prategang saat pelepasan gaya prategang		
Akhir		
3. Komponen lendutan(ke bawah)digunakan untuk lendutan yang dihitung pada(1) di atas	2,7	2,4
4. Komponen lendutan(ke atas) digunakan pada lendutan ke atas(cember) yang digitung pada(2) di atas	2,45	2,2
5. Lendutan(ke bawah)digunakan pada lendutan elastik hanya akibat beban mati di atasnya	3,0	3,0
6. Lendutan(ke bawah) digunakan pada lendutan elastik yang disebabkan oleh lapisan atas komposit	-	2,3

(Sumber : Desain struktur beton pratekan edisi 3, T.Y Lin)

2.1.4.3 Daerah limit kabel

Daerah limit kabel perlu diketahui agar tegangan yang timbul tidak melampaui tegangan izin. Untuk itu letak titik berat tendon(cgs) harus ditentukan terlebih dahulu agar tidak menimbulkan tegangan tarik pada serat atas maupun bawah.



(Sumber : Desain struktur beton prategang edisi 3, T.Y.Lin)
 Batas paling bawah dan paling atas agar tidak terjadi tegangan tarik, untuk letak kabel pratekan adalah

$$k_b = \frac{I^2}{y_t} \quad \text{dan} \quad k_t = \frac{I^2}{y_b}$$

Letak limit kabel dicari dengan

$$a_1 = \frac{M_T}{F} \quad \text{dan} \quad a_2 = \frac{M_G}{F_0}$$

Dimana:

- k_t = posisi kern dari c.g.c ke atas (kern atas)
- k_b = posisi kern dari c.g.c ke bawah (kern bawah)
- a_1 = posisi tendon minimum dari kern atas ke bawah
- a_2 = posisi tendon maksimum dari kern bawah ke bawah

Lintasan tendon dihitung dengan persamaan garis lengkung berikut:

$$Y_i = \frac{4 \times f \times X_i \times (L - X_i)}{L^2}$$

Dimana:

- Y_i = ordinat tendon ditinjau
- X_i = absis tendon yang ditinjau
- L = Panjang bentang balok

f = tinggi puncak parabola maksimum(y_b-d')

2.2 Identifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Dalam merencanakan suatu bangunan gedung maupun non gedung yang perlu didesain dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) agar mampu menahan gaya gempa kapasitas sedang, Maka bangunan tersebut harus tergolong Kategori Desain Seismik (KDS) tipe D.

Dimana langkah-langkah identifikasinya sebagai berikut :

1. Menentukan Klasifikasi Situs

Dalam menentukan klasifikasi situs diperlukan tanah hasil *Standart Penetration Test (SPT)*. Kemudian diolah hingga mendapatkan nilai \bar{N} atau \bar{N}_{ch} . Dari nilai tersebut tipe kelas situs dapat ditentukan beberapa jenis yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs).

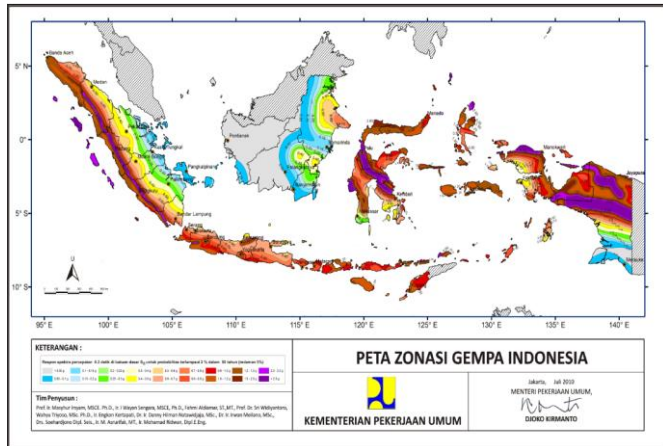
2. Menentukan Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Untuk menentukan kategori resiko bangunan perlu mengetahui jenis pemanfaatan dari bangunan yang akan direncanakan pembangunannya. Kategori resiko bangunan terbagi menjadi 4 yaitu kategori resiko I, II, III, dan IV.

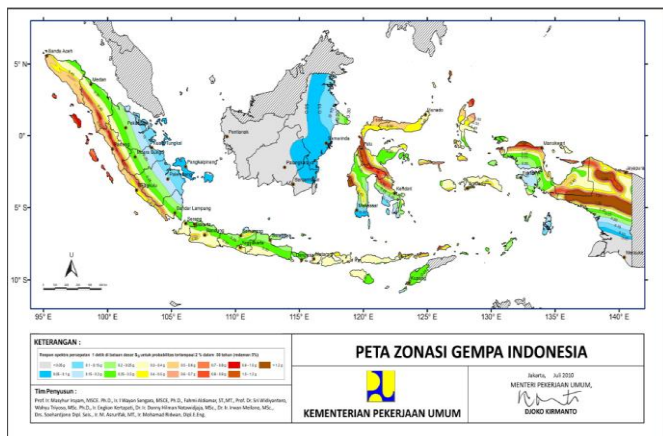
3. Menentukan nilai S_s dan S_1 Untuk Gempa 2500 Tahun

Dalam Menentukan nilai S_s (respon spektra percepatan 0,2 detik) dan nilai S_1 (respon spektra percepatan 1,0 detik) untuk Gempa 2500 tahun (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun) diperlukan

dimana lokasi gedung akan dibangun. Setelah itu melihat peta hazard gempa Indonesesia tahun 2010.



Gambar 2.1 : Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_s) di batuan dasar (S_b) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2.2 : Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S1) di batuan dasar (Sb) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

4. Menentukan nilai koefisien-koefisien situ dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R).

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik untuk mencari nilai S_{MS} dan S_{M1} .

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.2(5)}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.2(6)}$$

Sementara nilai F_a dan F_v bisa didapat dengan menggunakan tabel 4 dan tabel 5 dalam SNI gempa 1726-2012 pasal 6.2

5. Menentukan parameter spektral desain

Parameter Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek S_{DS} dan pada perioda 1 detik S_{D1} harus ditentukan melalui perumusan persamaan sebagai berikut.

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \quad \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.3(7)}$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} \quad \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.3(8)}$$

6. Pengelompokkan Kategori Desain Seismik (KDS)

Syarat-syarat dalam menentukan KDS sebagai berikut:

- Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III dengan $(S_1) \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E
- Struktur dengan kategori resiko IV dengan $(S_1) \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F
- Struktur lain harus ditentukan dengan tabel berikut

Nilai S_{DS}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV

$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,2 \leq S_{D1}$	D	D

Dari kedua tabel di atas maka dipilih KDS dengan resiko yang lebih parah terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur T.

2.4 Preliminary Design

Preliminary Design merupakan suatu tahapan awal untuk memperkirakan dimensi berdasarkan gambar struktur dan arsitektur dari gedung tersebut agar mendapatkan dimensi yang kuat dan efisien. Berikut komponen struktur bangunan antara lain:

1. Struktur Primer

Adalah komponen struktur utama bangunan yang terdiri dari balok, kolom, dan sloof.

2. Struktur Sekunder

Adalah komponen struktur bangunan yang terdiri dari atap, pelat lantai, dan tangga

3. Struktur Pondasi

Adalah komponen struktur bangunan yang terdiri dari poer dan tiang pancang.

2.4.1 Struktur Primer

2.4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Untuk melakukan perhitungan dimensi pada balok, bentang pada balok harus diketahui terlebih dahulu dari gambar

struktur bangunan. Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan acuan SNI 03-2847-2013 Tabel 9.5(a), yaitu :

Tabel 2.1: Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.

Tebal minimum, h				
Komponen Struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak di hubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang meungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
<p>CATATAN : Panjang bentang dalam mm Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasi sebagai berikut :</p> <p>a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), W_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m³. Nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65-0,003W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09</p> <p>b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$</p>				

(Sumber : SNI 03-2847-2013 Tabel 9.5(a))

Untuk nilai dimensi (h) pada balok dapat ditentukan sebagai berikut :

1. Dimensi h pada balok pratekan

$$h \geq \frac{1}{16} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \times 75\%,$$

2. Dimensi h pada balok induk non pratekan

$$h \geq \frac{1}{16} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right), \quad \text{jika } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa}$$

3. Dimensi h pada balok anak

$$h \geq \frac{1}{21} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right), \quad \text{jika } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa}$$

Sedangkan lebarnya dapat diambil dari nilai 2/3 dari tinggi balok yang telah didapat.

2.4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai. Untuk itu dimensi kolom direncanakan strong coloum weak beam, sehingga didapatkan rumusan sebagai berikut :

$$A_g = \frac{P_u \times 3 \times 10}{f_c}$$

Dimana $P_u = 1,2D + 1,6L$

Karena kolom direncanakan sama sisi maka

$$b=d=\sqrt{A_g}$$

2.3.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof

Perencanaan dimensi sloof sama dengan perhitungan dimensi pada balok.

2.4.2 Struktur Sekunder

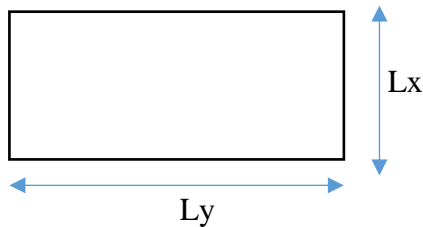
2.4.2.1 Perencanaan Dimensi Pelat

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat

memperlemah kekuatan ataupun mengurangi layan struktur pada beban kerja.

A. Perencanaan pelat satu arah (one way slab)

Pelat satu arah terjadi apabila $l_y/l_x > 2$; dimana l_x adalah bentang pendek dan l_y adalah bentang panjang.



Tebal minimum yang ditentukan dalam Tabel 9.5(a) berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan. (SNI 03-2847-2013, Pasal 9.5.2.1)

Tabel 2.2 : Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.

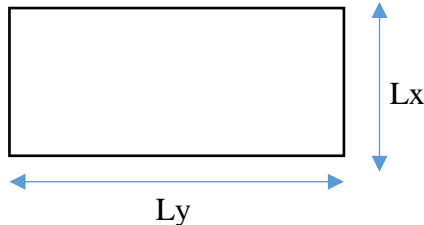
Tebal minimum, h				
Komponen Struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak di hubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang meungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10

Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
<p>CATATAN :</p> <p>Panjang bentang dalam mm</p> <p>Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasi sebagai berikut :</p> <p>a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), W_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m³. Nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,003W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09</p> <p>b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$</p>				

(Sumber : SNI 03-2847-2013, Tabel 9.5(a))

B. Perencanaan pelat dua arah (two way slab)

Pelat dua arah terjadi apabila $L_y/L_x < 2$; dimana L_x adalah bentang pendek dan L_y adalah bentang panjang.



Untuk pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan Tabel 9.5(c) dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

- Tanpa penebalan > 125 mm
- Dengan penebalan > 100 mm

Tabel 2.3 : Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Tegangan leleh, f_y MPa	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	Ln/33	Ln/36	Ln/36	Ln/36	Ln/40	Ln/40
420	Ln/30	Ln/33	Ln/33	Ln/33	Ln/36	Ln/36
520	Ln/28	Ln/31	Ln/31	Ln/31	Ln/34	Ln/34
1. Untuk konstruksi dua arah ln adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus lain. 2. Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam table, table minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier. 3. Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5 4. Pelat dengan balok diantara kolom-kolomnya sepanjang tepi eksterior. Nilai a_f untuk balok tepi boleh kurang dari 0,8						

(Sumber: SNI 03-2847-2013, Tabel 9.5(c))

2.4.2.2 Perencanaan Dimensi Tangga

Tangga merupakan bagian dari elemen konstruksi yang berfungsi sebagai penghubung antara lantai satu dengan lantai yang lain. Tangga merupakan elemen penting yang harus ada pada bangunan bertingkat, baik sebagai tangga utama maupun tangga darurat.

Dalam perencanaan ini, karena elevasi tiap lantai mempunyai ketinggian dan ukuran yang sama (satu tipe tangga), maka perencanaan tangga dihitung dalam satu perhitungan.

Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga sesuai ketentuan perhitungan menggunakan metode SPRMK.

1. Data-data perencanaan

- Tipe tangga

- Panjang datar tangga
 - Tinggi tangga
 - Tinggi pelat bordes
 - Tebal rencana pelat tangga
 - Tebal rencana pelat bordes
 - Lebar injakan (i)
 - Lebar tanjakan (t)
2. Perhitungan perencanaan dimensi tangga
- Sudut kemiringan tangga (α)

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$
 - Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \geq \alpha \leq 40^\circ$$
 - Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t}$$
 - Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$
 - Tebal efektif pelat anak tangga (d)
 Dengan perbandingan luas segitiga :

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2} \times i \times t = \frac{1}{2} \times \left(\sqrt{i^2 + t^2} \right) \times d$$
 Maka tebal efektif pelat tangga = tebal pelat tangga rencana + $\frac{1}{2} d$

2.4.3 Struktur Pondasi

Dari hasil SPT dapat diketahui bahwa tanah keras berada dalam kedalaman lebih dari 10 meter, oleh karena itu pondasi yang dapat digunakan adalah pondasi dalam. Ada beberapa jenis untuk pekerjaan pondasi dalam, berikut ini adalah kelebihan serta kekurangan untuk masing-masing jenis pondasi dalam.

Dimana kekurangan dan kelebihan pondasi dalam adalah sebagai berikut :

- a. Bored Pile
- Kelebihan

- Tidak menimbulkan getaran
 - Tidak menimbulkan kebisingan
 - Kekurangan
 - Proses pengerjaan lebih rumit
 - Waktu pengerjaan relative lama
 - b. Pondasi tiang pancang dengan metode drop hammer
 - Kelebihan
 - Proses pengerjaan lebih praktis
 - Waktu pengerjaan cepat
 - Kekurangan
 - Menimbulkan getaran pada tanah
 - Menimbulkan kebisingan saat pemasangan
 - Menimbulkan pergeseran pada tanah
 - c. Pondasi tiang pancang dengan metode Injection Pile
 - Kelebihan
 - Tidak menimbulkan getaran pada tanah
 - Tidak menimbulkan kebisingan saat pemasangan
 - Metode pelaksanaannya mudah
 - Waktu pengerjaan cepat
 - Kekurangan
 - Menimbulkan pergeseran pada tanah
- Dengan mempertimbangkan kondisi sekitar proyek bangunan dan kelebihan serta kekurangan dari masing-masing jenis pondasi diatas, maka perencanaan pondasi untuk perencanaan struktur bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya menggunakan pondasi tiang pancang dan denan metode Injectoin pile.

2.4 Pembebanan

Dalam perencanaan pembebanan struktur beton bertulang bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya mengacu pada peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung tahun 1983 (PPIUG 1983), SNI 1727:2013 beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, dan SNI 1726:2012 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung. Terdapat beberapa jenis beban yang harus ditinjau antara lain.

2.4.1 Beban Mati

Beban mati yang akan dihitung dalam perencanaan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya adalah sebagai berikut:

a. Beban mati pada pelat lantai atap, terdiri dari :

- Beban sendiri struktur pelat lantai atap
- Beban aspal
- Beban plafond dan penggantung
- Beban instalasi listrik dan AC
- Beban perpipaan

b. Beban mati pada pelat lantai terdiri dari :

- Beban sendiri struktur pelat lantai
- Beban pasangan keramik dan spesi
- Beban plafond dan penggantung
- Beban instalasi listrik dan AC
- Beban perpipaan

c. Beban mati pada tangga, terdiri dari :

- Beban sendiri pelat tangga
- Beban anak tangga
- Beban sendiri pelat bordes
- Beban pasangan keramik dan spesi

d. Beban mati pada balok, terdiri dari :

- Beban sendiri balok
- Beban pasangan dinding

2.4.2 Beban Hidup

Adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Terdiri dari :

a. Beban hidup pada atap bangunan

- Beban hidup pada atap bangunan yang dapat dicapai dan dibebani manusia (pekerja) harus diambil minimum 96 kg/m^2 .
- Beban merata air hujan digitung dengan menggunakan rumus berikut

$$R = 0,0098(d_s + d_h) \quad \dots \text{SNI 1727:2013 Pasal 8.3}$$

Dimana :

d_s = kedalaman air jika drainase primer tertutup

= 20 mm

d_h = tambahan kedalaman kedalaman air

= 10 mm

- Beban hidup pada lantai Bangunan
 - Ruang kelas sebesar 192 kg/m^2 .
 - Koridor lantai pertama sebesar 479 kg/m^2 .
 - Koridor di atas lantai pertama sebesar 383 kg/m^2
- Beban hidup pada tangga
Beban hidup pada tangga ditetapkan sebesar 479 kg/m^2

2.4.3 Beban Angin

Sebelum memulai proses perhitungan beban angin, pertama tentukan terlebih dahulu prosedur yang akan digunakan berdasarkan tingkat kerendahan suatu bangunan. Pada pasal 26.2 dijelaskan bahwa bangunan yang termasuk tingkat rendah ditentukan sebagai berikut :

- Tinggi atap rata-rata, $h \leq 18$ meter
- Tinggi atap rata-rata h tidak melebihi dimensi horizontal yang terkecil.

Apabila salah satu kondisi dari 2 persyaratan di atas tidak terpenuhi maka bangunan gedung tersebut dapat dikategorikan bangunan tinggi.

Macam-macam prosedur perhitungan beban angin pada Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan syarat penggunaannya.

- Prosedur pengarah untuk bangunan dari semua ketinggian seperti disyaratkan dalam pasal 27 untuk bangunan memenuhi persyaratan yang disyaratkan di dalamnya.

2. Prosedur amplop untuk bangunan bertingkat rendah seperti yang disyaratkan dalam pasal 28 untuk bangunan memenuhi persyaratan yang disyaratkan di dalamnya.
3. Prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan (Struktur bagian atas atap dan peralatan bagian atas atap) dan struktur lainnya (Seperti dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas, cerobong asap, tangki, papan reklame terbuka, rangka kisi, dan menara rangka batang) seperti yang disyaratkan dalam pasal 29.
4. Prosedur terowongan angin untuk semua bangunan gedung dan struktur lain seperti disyaratkan pasal 31.

Langkah-langkah penentuan beban angin prosedur pengarah ditentukan dalam pasal 27,

- a. Tentukan kategori resiko bangunan gedung dan struktur lain, lihat tabel 1.5-1 :
- b. Tentukan kecepatan angin dasar, V , sesuai daerah dimana bangunan dibangun :
- c. Tentukan faktor arah angin, K_d , lihat tabel 26.6-1 :
- d. Tentukan kategori eksposur, lihat pasal 26.7 :
- e. Tentukan faktor topografi, K_{zt} , lihat pasal 26.8 :
- f. Tentukan faktor efek tiupan angin, G , lihat pasal 26.9 :
- g. Tentukan klasifikasi ketertutupan, lihat pasal 26.10 :
- h. Tentukan koefisien internal, (GC_{pi}) , lihat pasal 26.11 :
- i. Tentukan koefisien eksposur tekanan velositas K_z dan K_h , lihat pasal 27.3.1 :
- j. Tentukan tekanan velositas q_z dan q_h , lihat pada pasal 27.3.2
- k. Tentukan koefisien tekanan eksternal, C_p , lihat gambar 27.4.1
- l. Tentukan beban angin bangunan kaku tertutup, lihat pasal 27.4.1 : $p = qGC_p$

2.4.4 Beban Gempa

Beban gempa dihitung menggunakan metode Statik Ekuivalen. Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan di SNI 1726-2012 dan Peta Hazard 2010.

2. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata-rata (\bar{N}_{SPT})
3. Dari nilai \bar{N}_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel berikut :

Tabel 2.4 : Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\tilde{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\dot{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat keras dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\dot{s}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah. 		

	<ul style="list-style-type: none"> - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\dot{s}_u < 50$ kPa
--	--

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 1726-2012 Tabel 3)

4. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010.

5. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (F_v) berdasarkan tabel berikut :

Tabel 2.5 :Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

(Sumber : SNI 1726-2012 Tabel 4)

Tabel 2.6 : Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

(Sumber : SNI 1726-2012 Tabel 5)

6. Menentukan parameter spectrum respons percepatan pada perioda 0,2 detik (S_{MS})

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

(Sumber : SNI 1726-2012 Pasal 6.2 pers. 5)

7. Menentukan parameter spectrum respons percepatan pada perioda 0,2 detik (S_{M1})

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

(Sumber : SNI 1726-2012 Pasal 6.2 pers. 6)

8. Parameter percepatan spectral desain untuk perioda 0,2 detik.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

(Sumber : SNI 1726-2012 Pasal 6.2 pers. 7)

9. Parameter percepatan spectral desain untuk perioda 1 detik.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

(Sumber : SNI 1726-2012 Pasal 6.2 pers. 8)

10. Menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan.

$$T = C_t \times h_n^x$$

h_n = Tinggi bangunan (m)

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

(Sumber : SNI 1726-2012 Tabel 15)

11. Membuat Respon Spektrum Gempa

- Untuk perioda lebih kecil T_0 , spectrum respons percepatan desai :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

(Sumber : SNI 1726-2012 Pasal 6.4 pers.9)

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS}$$

- Untuk perioda lebih besar T_s , spectrum respons percepatan desain :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

(Sumber : SNI 1726-2012 Pasal 6.4 pers.10)

12. Menentukan Kategori Resik dan Faktor Keutamaan Gempa (I) struktur bangunan dapat dilihat pada SNI 1726-2012 Tabel 1

Tabel 2.7 : Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0

III	1,25
IV	1,5

(Sumber : SNI 1726-2012 Tabel 2)

13. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (R)

Tabel 2.8. Faktor R, Cd, untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons	Faktor kuat lebi h sistem	Faktor pem bes aran defl eksi	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n , (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^d
C. Sistem rangka pemikul momen	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
2 Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ½	TB	TB	48	30	TI
3 Rangka baja pemikul momen menengah	4 ½	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4 Rangka baja pemikul momen biasa	3 ½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ⁱ	TI ⁱ
5 Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB

6 Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7 Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8 Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
9 Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
10 Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI
11 Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
12 Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dgn pembautan	3 ½	3	3 ½	10	10	10	10	10

(Sumber : SNI 1726-2012, Tabel 9)

14. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V)

$$V = C_s \times W$$

(Sumber : SNI 1726-2012, Pasal 7.8.1 pers. 21)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

(Sumber : SNI 1726-2012, Pasal 7.8.1.1 pers. 22)

$$\text{Sehingga, } V = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \times W$$

2.4.5 Kombinasi Pembebanan

Struktur harus dirancang hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut yang mengacu pada tata cara perencanaan gempa telah ditetapkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.2.1

1. $U=1,4D$
2. $U=1,2D+1,6L+0,5R$
3. $U=1,2D+1,6L+0,5L_r$
4. $U=1,2D+1,6R+1L$
5. $U=1,2D+1,6R+0,5W$
6. $U=1,2D+1,6L_r+L$
7. $U=1,2D+1,6L_r+0,5W$
8. $U=1,2D+1W+1L+0,5R$
9. $U=1,2D+1W+1L+0,5L_r$
10. $U=1,2D+1,6L+0,3E_x+1E_y$
11. $U=1,2D+1,6L+1E_x+0,3E_y$
12. $U=0,9D+1W$
13. $U=0,9D+1E_x+0,3E_y$
14. $U=0,9D+0,3E_x+1E_y$

Untuk kombinasi beban gempa vertikal berdasarkan dan faktor reduksi maka kombinasi nomor 10,11,13, dan 14 dimodifikasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 besarnya beban gempa vertikal ditentukan sebesar $E_v = 0,2S_{ds}D$, kemudian faktor reduksi berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.4.2 didapatkan nilai $\rho = 1,3$. Modifikasi kombinasi pembebanan setelah mendapat pengaruh beban vertikal dan faktor reduksi adalah sebagai berikut:

- 10 $U=(1,2+0,2S_{ds})D+1,3E_x+0,39E_y$
- 11 $U=(1,2+0,2S_{ds})D+0,39E_x+1E_y$
- 13 $U=(0,9-0,2S_{ds})D+1,3E_x+0,39E_y$
- 14 $U=(0,9-0,2S_{ds})D+0,39E_x+1,3E_y$

Untuk beban gempa, analisa terhadap arah gaya gempa yang berbalik arah maka ditambah kombinasi pembebanan sebagai berikut :

$$15 \text{ U}=(1,2+0,2\text{Sds})\text{D}-1,3\text{Ex}-0,39\text{Ey}$$

$$16 \text{ U}=(1,2+0,2\text{Sds})\text{D}-0,39\text{Ex}-1\text{Ey}$$

$$17 \text{ U}=(0,9-0,2\text{Sds})\text{D}-1,3\text{Ex}-0,39\text{Ey}$$

$$18 \text{ U}=(0,9-0,2\text{Sds})\text{D}-0,39\text{Ex}-1,3\text{Ey}$$

Keterangan :

- a. D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.
- b. L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
- c. Lr adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- d. R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air
- e. W adalah beban angin.
- f. Tanda negatif(-) menandakan arah gempa yang berlawanan

2.5 Perhitungan Penulangan Struktur

2.5.1 Struktur Sekunder

Perencanaann penulangan pada pelat lantai dan atap

- a. Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cp} \times I_p} > 1$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 13.3.6)

Dimana :

E_{cb} : modulus elastisitas balok beton

E_{cp} : modulus elastisitas pelat beton

I_b : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

b. Kebutuhan penulangan Pelat

Perhitungan momen-momen yang terjadi pada pelat berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 (PBBI 1971) tabel 12.2.1 dan 13.3.2

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta^1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(Sumber : SNI 03-2847-2013, Pasal 8.4.2)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

(Sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 10.3.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

Jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%, sehingga :

$$\rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times \rho_{\text{perlu}}$$

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

c. Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} < 2 \times h$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 13.3.2)

d. Kontrol tulangan susut dan suhu

Luas tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014.

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 7.12.2)

Tabel 2.9. Rasio tulangan susut dan suhu

	Rasio tulangan minimum terhadap luas bruto
--	--

a	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 Mpa atau 300 Mpa	0,0020
b	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jarring kawat las (polos ulir) mutu 420 Mpa	0,0018
c	Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 Mpa yang di ukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 7.12.2.1)

2.5.2 Struktur Primer

2.5.2.1 Penulangan balok pratekan

1. Perhitungan tulangan puntir

- Pengaruh puntir pada struktur pategang dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari :

$$T_u \text{ min} = 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f'_c}}}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.1.b)

Cek kondisi :

Jika $T_u \text{ min} > T_u$, maka tidak perlu tulangan puntir

Jika $T_u \text{ min} < T_u$, maka perlu tulangan puntir

- Cek kecukupan penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u + p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

Dimana d diambil sebagai jarak terjauh serat pratekan ke pusat tulangan tarik longitudinal pratekan dan non-pratekan jika ada, tetapi tidak perlu kurang dari 0,8h

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.1)

- Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir
 $\phi T_n \geq T_u$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.5)

Syarat :

$$A_o = 0,85A_{oh}$$

$\theta = 45^\circ$ untuk $F_e < 40\%$ kuat tarik tulangan longitudinal
 $= 37,5^\circ$ untuk $F_e \geq 40\%$ kuat tarik tulangan longitudinal

Luasan perlu tulangan torsi untuk lentur

$$A_l \text{ perlu} = \frac{A_t}{s} \cdot Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$\text{dengan } \frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.7)

Cek tulangan torsi longitudinal minimum

$$A_l \text{ min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

(Sumber : SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3)

$$\text{dengan } \frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.6)

dan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.5.3)

Kontrol tulangan

$A_l \text{ pasang} > A_l \text{ perlu}$

Dimana :

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

T_n = kuat momen puntir nominal

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luas penampang beton

P_{cp} = keliling luas penampang beton

f_{yt} = Merujuk pada tulangan torsi transversal

f_y = Merujuk pada tulangan torsi longitudinal

2. Perhitungan tulangan geser

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton harus diambil dari nilai terkecil dari V_{ci} dan V_{cw} sebagai berikut :

Pada perhitungan geser d diambil sebagai jarak serat tekan terjauh ke pusat tulangan longitudinal prategang dan non-prategang, jika ada, tetapi tidak kurang dari 0,8h

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f'_c}b_wd_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$$

Dimana d_p tidak perlu diambil kurang dari 0,8h dan

$$M_{cre} = \frac{I}{Y_t} \left(0,5\lambda\sqrt{f'_c + f_{pe}} - f_d \right)$$

$$f_{pe} = \frac{F_e}{A} + \frac{F_e \cdot e}{S_x}$$

$$f_d = \frac{M_d}{S_x}$$

V_i dan V_d dicari pada daerah lapangan dan tumpuan

$$V_{d.tumpuan} = \frac{0,5L - 0,5H_{kolom}}{0,5L} \times V_d'; \quad V_{d.lapangan} = \frac{0,5L - 1/4L_{balok}}{0,5L} \times V_d'$$

$$V_{i.lapangan} = \frac{0,5L - 0,5H_{kolom}}{0,5L} \times V_i'; \quad V_{i.lapangan} = \frac{0,5L - 1/4L_{balok}}{0,5L} \times V_i'$$

Dan V_{ci} tidak perlu kurang dari

$$0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd$$

V_{cw} harus dihitung dengan :

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_wd_p + V_p$$

Dimana d_p tidak perlu diambil kurang dari 0,8h

$$f_{pc} = \frac{F_e}{A_c}$$

$$P = \frac{8 \times F_e \times f}{L^2}$$

$$V_p = \frac{L}{2} \times P$$

V_p diambil pada daerah lapangan dan tumpuan

$$V_{p.tumpuan} = \frac{0,5L - 0,5H_{kolom}}{0,5L} \times V_p ; V_{p.lapangan} = 0,5L - 1/4L_{balok} \times V_p$$

Dimana :

f_{pc} = Tegangan tekan setelah kehilangan gaya pratekan

f = Tinggi puncak parabola maksimum

V_p = Komponen vertikal gaya pratekan efektif

V_d' = Gaya geser akibat beban mati

V_i' = Gaya geser akibat beban mati dan hidup total

M_d = Momen akibat berat sendiri balok (tumpuan dan lapangan)

M_{max} = Momen akibat beban mati dan hidup total (tumpuan dan lapangan)

3. Perhitungan penulangan angker

Untuk desain daerah angkur pasca tarik , faktor beban diterapkan sebesar 1,2 untuk gaya jeking (SNI 2847:2013 Pasal 9.2.7)

$$l_t = \frac{1}{1000} \left(\frac{f_{pe}}{3} \right) d_b$$

$$A_t = 0,021 \frac{P_i \cdot h}{f_s \cdot l_t}$$

(Sumber : Beton Prategang edisi 3, Edward G.Nawy)

Jumlah sengkang dan jarak sengkang

$$n = \frac{A_t}{A_{sengkang}}$$

$$S = \frac{l_t}{n}$$

Dimana :

- l_t = Panjang penanaman yang menghasilkan pengembangan penuh tegangan
 f_{pe} = prategang efektif setelah kehilangan
 d_b = diameter nominal tendon prategang
 P_i = Gaya jaking yang sudah dikalikan faktor beban
 h = tinggi balok pratarik
 f_s = tegangan rata-rata sengkang yang diizinkan ≤ 138 Mpa untuk kontrol retak
 n = jumlah sengkang perlu
 S = jarak sengkang

2.5.2.2 Penulangan balok non pratekan

1. Perhitungan tulangan lentur

Momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program bantuan ETABS.

- Cek jenis tulangan, merupakan tulangan rangkap atau tulangan tunggal.

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d$$

dengan, $d = b_w - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul.utama}}$

Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d'$$

dengan $d' = \text{decking} + \emptyset_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul.utama}}$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} < X_{\max}$$

Komponen beton tertekan

$$C_{c'} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}$$

Luasan tulangan tarik

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{f_y}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_s \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Dimana :

M_n : momen nominal penampang

M_u : momen ultimate penampang

ϕ : factor reduksi

C_c : selimut bersih dari permukaan tarik terdekat ke permukaan tulangan tarik lentur

A_{sc} : luas tulangan tarik non-prategang

M_{ns} : momen akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti pada struktur.

M_{nc} : momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan

- Jika $(M_n - M_{nc}) > 0$, maka perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini :

$$C_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d''}$$

$$f_s' = \left(\frac{x - d''}{x} \right) \cdot 600$$

Jika $f_s' > f_y$, maka tulangan tekan leleh, $f_s' = f_y$

Jika $f_s' < f_y$, maka tulangan tekan tidak leleh, $f_s' = f_s'$

Luasan tulangan tekan perlu

$$A_s' = \frac{C_s}{f_s' - 0,85 f_c'}$$

Luasan tulangan tarik tambahan

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} + A_l/4$$

Dimana A_l = luasan tulangan torsi memanjang

- Jika $(M_n - M_{nc}) < 0$, maka perlu tulangan tunggal, untuk menentukan kebutuhan tulangan tunggalnya dapat digunakan langkah-langkah sebagai berikut :

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

(Sumber : SNI2847-2013, Pasal 10.5.1)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

(Sumber : SNI2847-2013, Pasal 10.3.3)

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(Sumber : SNI2847-2013, Pasal 8.4.2)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

Jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%, sehingga:

$$\rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times \rho_{\text{perlu}}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ perlu} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

dimana : A_l = luasan tulangan torsi memanjang

- Cek tulangan terpasang

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{tul.sengkan}}) - (n \times \phi_{\text{tul.utama}})}{n-1}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Cek momen nominal penampang

$$a = \left(\frac{(A_s \text{ tul. tarik} \times f_y) - (A_s' \text{ tul. tekan} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

Gaya tekan tulangan rangkap

$$C_s' = A_s' \text{ pasang} \times f_s'$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' \times (d - d')$$

Kontrol kekuatan

$$M_n \text{ pasang} \geq \frac{M_u}{\phi}$$

2. Perhitungan tulangan geser

- Penentuan V_u , V_c , V_s , dan V_n

Gaya lintang maksimum diperoleh dari kapasitas momen probable dari muka join.

Momen Probable 1 (M_{pr1})

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$a = \frac{A_s \text{ tarik pasang} \times f_y \times 1,25}{0,85 \times f_c' \times b}$$

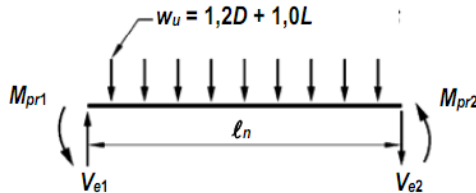
$$Mn_{kiri} = A_s \text{ pasang} \times f_y \times 1,25 \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Momen Probable 2(M_{pr2})

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$a = \frac{A_s \text{ tekan pasang} \times f_y \times 1,25}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$Mn_{kanan} = A_s' \text{ pasang} \times f_y \times 1,25 \left(d - \frac{a}{2} \right)$$



Gambar 2.3. Desain geser balok

$$V_u = \frac{Mn_{kiri} + Mn_{kanan}}{L_n} + \frac{W_u}{2}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 21.3.3)

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan di dalam pasal ini tidak boleh melebihi 8,3 Mpa kecuali seperti yang di perbolehkan dalam pasal 11.1.2.1

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.1.2)

Kuat geser beton yang dibebani oleh geser dan lentur ϕ
 $V_u \geq V_n$

$$V_n = V_c + V_s$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.1.1)

Kuat geser beton

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana $\lambda = 1$ untuk beton normal

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.2.1.1)

Kuat geser sengkang maksimum

$$V_s \text{ maks} = 0,66\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.4.7.9)

Kuat geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.4.7.2)

Tulangan geser minimum

$$A_v \text{ min} = 0,062\sqrt{f_c'} \cdot \frac{b_w \times s}{f_{yt}}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari $(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt}$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.4.6.3)

- Kontrol kondisi

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5\phi \cdot V_c$$

$$(V_{s\text{perlu}} = V_{s\text{min}})$$

Kondisi 2 (Perlu tulangan geser minimum)

$$0,5 \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$(V_{s\text{perlu}} = V_{s\text{min}})$$

Kondisi 3 (Perlu tulangan geser minimum)

$$\phi \cdot V_c < V_u \leq (\phi \cdot V_c + \phi \cdot V_s \text{ min})$$

$$(V_{s\text{perlu}} = V_{s\text{min}})$$

Kondisi 4 (Perlu tulangan geser minimum)

$$(\phi \cdot V_c + \phi \cdot V_s \text{ min}) < V_u \leq (\phi \cdot V_c + \phi \cdot V_s \text{ maks})$$

$$(\phi \cdot V_s \text{ perlu} = V_u - \phi \cdot V_c)$$

Kondisi 5 (Perlu tulangan geser)

$$(\phi \cdot V_c + \phi \cdot V_s \text{ maks}) < V_u \leq (\phi \cdot V_c + \phi \cdot 2V_s \text{ max})$$

$$(\phi \cdot V_s \text{ perlu} = V_u - \phi \cdot V_c)$$

Dimana :

V_n = tegangan geser nominal

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

A_v = luas tulangan geser

- Penulangan geser perlu

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

Persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok

Pada ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $d/4$
- $6 \times D$ lentur
- 150 mm

3. Perhitungan tulangan torsi(puntir)

- Pengaruh puntir pada struktur non-pategang dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari :

$$T_u \text{ min} = 0.083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.1.a)

Cek kondisi :

Jika $T_u \min > T_u$, maka tidak perlu tulangan puntir

Jika $T_u \min < T_u$, maka perlu tulangan puntir

- Cek kecukupan penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u + p_h}{1,7 A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f_c'}\right)$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.1)

- Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir
 $\phi T_n \geq T_u$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.5)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \theta}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.6)

$$A_o = 0,85 A_{oh}$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175 b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 b_w}{f_{yt}}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.5.3)

Luasan perlu tulangan torsi untuk lentur

$$A_l \text{ perlu} = \frac{A_t}{s} \cdot \phi \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.7)

Cek tulangan torsi longitudinal minimum

$$A_l \min = \frac{5 A_c p \sqrt{f_c'}}{12 f_y} - \frac{A_t}{s} \phi \frac{f_{yt}}{f_y}$$

(Sumber : SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3)

Kontrol tulangan

$A_l \text{ pasang} > A_l \text{ perlu}$

Dimana :

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

T_n = kuat momen puntir nominal

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luas penampang beton

P_{cp} = keliling luas penampang beton

4. Perhitungan panjang penyaluran tulangan

Panjang penyaluran (l_d), dinyatakan dalam diameter d_b .

Nilai l_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai l_d / d_b harus diambil sebagai berikut.

Tabel 2.10. Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'c'}} \right] d_b$	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c'}} \right] d_b$
Kasus-kasus lain	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,4 \lambda \sqrt{f'c'}} \right] d_b$	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,1 \lambda \sqrt{f'c'}} \right] d_b$

(Sumber : SNI 2847-2013, Tabel 12)

Panjang penyaluran (l_d) dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan

panjang penyaluran dasar I_{db} . Nilai I_d tidak boleh kurang dari 200 mm.

Panjang penyaluran dasar I_{db} harus diambil sebesar yang terbesar.

$$\left[\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'c'}} \right] d_b$$

Dan tidak kurang dari $0,043 \times d_b \times f_y$
(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 12.2.2)

2.5.2.3 Penulangan Kolom

1. Kontrol kelangsingan kolom

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right) \text{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right) \text{balok}}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7)

$$EI = \frac{0,2E_c I_g + E_c I_g}{1 + \beta_{dns}} \text{ atau } EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}, \text{ pilih nilai terkecil}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.13.5)

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_{kolom}}{(k \times \lambda_y)^2}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.6)

$M_c = \delta_{ns} M_2$ Untuk rangka portal tak bergoyang

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.6)

$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$ Untuk rangka portal bergoyang

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7)

Apabila $EI = \frac{kL_u}{r} \geq 1$ maka diperlukan perhitungan momen

orde dua

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7)

Dimana :

ψ = rasio dari (EI/λ) kolom terhadap (EI/λ) balok pada salah satu ujung komponen struktur.

E_c = Modulus elastisitas beton

I_g = momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbu

P_c = beban kritis

2. Perbesaran momen

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c}} \geq 1$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7.4)

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7)

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7)

Dimana :

δ_{ns} = factor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping.

C_m = suatu factor yang menghubungkan diagram momen actual dengan suatu diagram momen merata ekuivalen

M_{1s} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat eban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti.

M2s = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat eban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti.

M1ns = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat eban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti.

M2ns = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat eban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti.

3. Perhitungan penulangan lentur

Hitung :

- Tentukan harga β
- Nilai M_{ox} dan M_{oy}
- $M_{ox} = M_{nx} + M_{ny} \left[\frac{h}{b} \right] \left[\frac{1-\beta}{\beta} \right]; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$
- $M_{oy} = M_{ny} + M_{nx} \left[\frac{h}{b} \right] \left[\frac{1-\beta}{\beta} \right]; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$
- $\frac{P_u}{A_g}$ dan $\frac{\phi M_{ox}}{A_g \times h}$
- ρ perlu didapat dari diagram interaksi
- $A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times h$

4. Kontrol kemampuan kolom

- Hitung M_{ox} dan M_{oy} baru
- Cari β dengan tabel hubungan interaksi lentur biaksial

$$\left(\frac{M_{ny}}{M_{ox}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{nx}}{M_{oy}} \right)^\alpha \leq 1$$

$$M^o = \frac{M_u}{\phi}$$

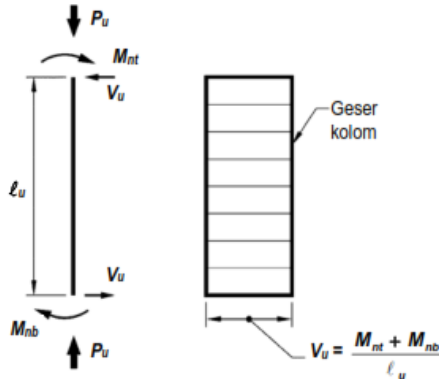
5. Perhitungan tulangan geser

$$V_u = \frac{M_{pr} + M_{pr}}{h_n}$$

Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d\right)$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 21.6.2.2)



Gambar 2.4. Desain geser kolom

(Sumber : SNI 2847-2013, Gambar S21.3.5)

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka kuat tekan geser (V_c) harus dihitung menggunakan rumus :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \left(\lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d\right)$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.2.1.2)

6. Jarak spasi tulangan pada kolom

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.3.5.2, syarat untuk menentukan jarak spasi maksimum tulangan pada kolom adalah sebagai berikut :

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
- 24 kali diameter batang tulangan begel;
- Setengah dimensi penampang kolom terkecil;
- 300 mm.

Panjang lo tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- a. Seperenam bentang bersih kolom;
- b. Dimensi penampang maksimum kolom;
- c. 450 mm.

senggang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $S_o/2$ dari muka joint (S_o adalah spasi maksimum tulangan transversal)

2.5.3 Struktur Pondasi

1. Perhitungan daya dukung tanah

Menurut Mayerhoff :

- a. Daya dukung ujung tiang pada tanah non-kohefif :

$$Q_p = 40 \times N_{spt} \times \frac{L_b}{D} \times A_p \leq 400 \times N_{spt} \times A_p$$

- b. Tahanan geser selimut tiang pancang pada tanah non kohefif :

$$Q_p = 2 \times N_{spt} \times p \times L_i$$

- c. Daya dukung ujung tiang pada tanah kohefif :

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

- d. Tahanan geser selimut tiang pada tanah kohefif :

$$Q_p = \alpha \times C_u \times p \times L_i$$

Dimana :

Q_p = tahanan ujung ultimate (kN)

A_p = luas penampang tiang pancang (m^2)

N_{spt} = jumlah pukulan yang diperlukan dari percobaan SPT

= N_{spt} memakai Norr = $(N_1 + N_2)/2$

= N_1 adalah Nrata-rata 10D

= N_2 adalah Nrata-rata 4D

L_b = tebal lapisan tanah kumulatif (m)

D = diameter tiang pancang (m)

L_i = tebal lapisan tanah ke-i (m)

p = keliling tiang (m)

α = koefisien adhesi antara tanah dan tiang

C_u = kohesi undrained (kN/m^2) = $N_{spt} \times 2/3 \times 10$

2. Perencanaan tiang pancang

- Perhitungan jarak antar tiang pancang :
 $2,5D \leq S \leq 4D$
- Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer :
 $1,5D \leq S_1 \leq 2D$
- Efisiensi(η) = $1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$
 $\theta = \arctg (D/S)$; dengan D adalah diameter tiang pancang
 dan S adalah jarak antar tiang pancang.
- Gaya yang dipikul tiang

$$P \text{ satu TP} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum y^2}$$
- Kontrol tiang pancang
 $P_{\max} \leq P_{\text{ijin}}$
 $P_{\min} \leq P_{\text{ijin}}$
 $P_{\max} \leq P_{\text{group tiang}}$

3. Perencanaan pile cap (poer)

- Penulangan lentur poer
- Rencanakan ketinggian (h) poer
- Tentukan momen yang terjadi :

$$M_u = (P \cdot x) - \left(\frac{1}{2} \times q \times l^2 \right)$$
- Hitung penulangan :
- $$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$
- $$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$
- $$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c}$$
- $$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$
- $$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

- Penulangan Geser Poer
Untuk perencanaan poer, nilai V_c harus diambil sebagai nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.11.2.1(a))

Dimana β adalah rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom, beban terpusat atau daerah reaksi, seperti tertera pada gambar dibawah ini :

$$V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.11.2.1(b))

Dimana α_s adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$\phi V_c > V_u$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 11.11.2.1(c))

4. Panjang penyaluran tulangan kolom

- Tulangan kondisi tarik

Tabel 2.11. Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'c'}} \right] d_b$	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c'}} \right] d_b$

batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b		
Kasus-kasus lain	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,4 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$	$\left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 12.2.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{s.\text{perlu}}}{A_{s.\text{pasang}}} \times \lambda_d$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 12.2.5)

- Tulangan kondisi tekan

Untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, I_{db} harus diambil sebesar yang terbesar dari

$$\left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \text{ dan } (0,043 f_y) d_b$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 12.3.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{s.\text{perlu}}}{A_{s.\text{pasang}}} \times \lambda_d$$

(Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 12.3.3)

- Tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$\lambda_{hb} = \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f_c'}} \quad (\text{batang dengan } f_y \text{ sama dengan } 400 \text{ Mpa})$$

(Sumber : SNI 2847-2013)

5. Kontrol geser poer

Untuk merencanakan tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser poer yang terjadi, dimana V_c diambil dari persamaan-persamaan berikut :

- Geser satu arah pada poer

$$\text{Tentukan beban poer } q_t = \frac{P}{\text{Luas poer}}$$

- Menentukan luasan tributary akibat geser satu arah
- $\sigma_u = \frac{\sum P}{A}$
- $V_u = \sigma_u \times (\text{luas total poer} - \text{luas poer})$
- Kontrol perlu tulangan geser
 $\phi V_c > V_u$ (tidak perlu tulangan geser)
 $\phi V_c < V_u$ (perlu tulangan geser)
 Jika $\phi V_c < V_u$ (perlu tulangan geser), maka dimensi poer diperbesar .

b. Geser dua arah pada poer

- Kontrol kemampuan beton :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

b_o = keliling dari penampang kritis

$b_o = 4 (0,5d + b \text{ kolom} + 0,5d)$

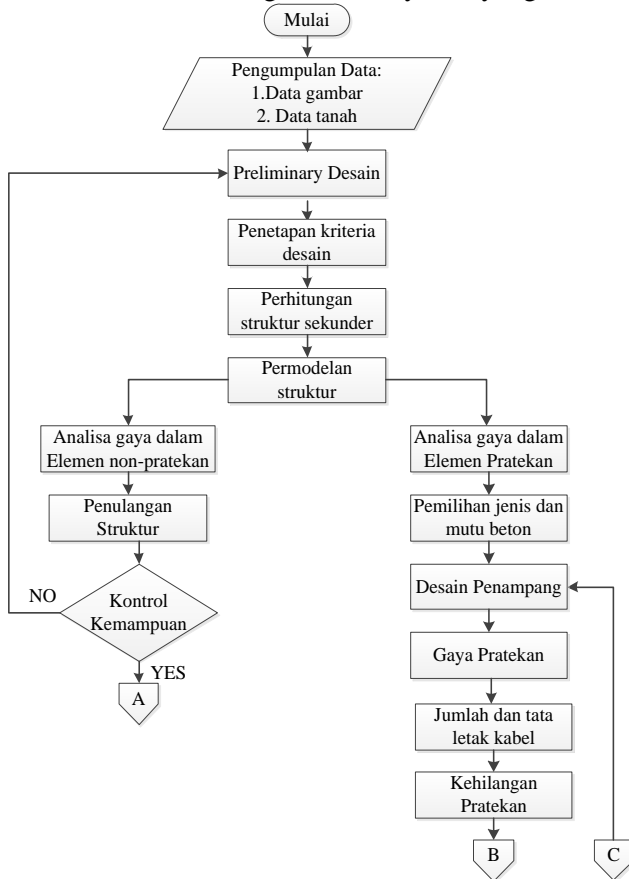
$$V_c = \left[\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right] \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{12}$$

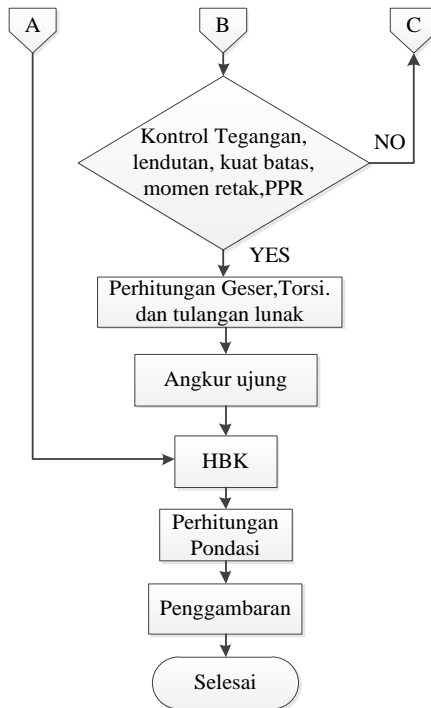
$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

BAB 3

METODOLOGI

Pada bab ini akan menerangkan langkah perencanaan struktur bangunan Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan 12 lantai dengan balok pratekan dan metode sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) agar perencanaan struktur memenuhi kriteria sesuai fungsi dan kelayakan yang dibutuhkan.





3.1 Studi Literatur

Dalam perencanaan struktur bangunan ini penulis menggunakan beberapa buku rujukan sebagai referensi dalam pengerjaan diantara lain :

1. SNI 2847:2013 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung
2. SNI 1726:2012 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
3. SNI 1727:2013 tentang Minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.
4. Peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung 1983
5. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971

3.2 Pengumpulan data bangunan eksisting

3.2.1 Data Bangunan

Nama proyek	: Proyek pembangunan SMP Muhammadiyah 5 Surabaya
Jumlah lantai	: 12 lantai
Tinggi Bangunan	: 49,8 m
Luas Bangunan	: 711 m ²
Struktur Bangunan Atas	: Konstruksi beton bertulang
Struktur Bangunan Bawah	: Tiang pancang
Struktur Atap	: Pelat beton betulang
Gambar Arsitektur	: Terlampir

3.2.2 Data Material

Spesifikasi dan mutu material yang akan digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

- Mutu beton (f_c') = 30 Mpa
(balok, sloof, dan plat)
= 35 Mpa (Kolom)
= 40 Mpa (Balok pratekan)
- Mutu Baja = BJ 37
- Tegangan leleh (F_y) = 240 Mpa
- Tegangan Putus (F_u) = 370 Mpa
- Modulus Elastisitas (E) = 200000 Mpa

3.2.3 Data Tanah

Data tanah yang diperlukan adalah data tanah dari pengujian tanah SPT (*Standard Penetration Test*) dengan kedalaman minimal 30 meter sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.4.2 agar dapat digunakan untuk perencanaan ketahanan gempa.

3.3 Preliminary Design

Preliminary design adalah suatu tahapan analisa untuk memperkirakan dimensi-dimensi struktur awal yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan dengan bantuan aplikasi komputer

untuk memperoleh dimensi yang efisien dan kuat. Penentuan dimensi awal struktur untuk komponen struktur primer yang meliputi balok, sloof, dan kolom serta komponen struktur sekunder yang meliputi pelat lantai satu arah, pelat lantai dua arah dan struktur pelat tangga

3.4 Penetapan kriteria desain

Pemilihan kriteria desain dilakukan berdasarkan data gedung sehingga sistem struktur yang akan dianalisis telah memenuhi persyaratan yang terdapat pada SNI 1726 2012.

3.5 Perhitungan struktur sekunder

Penulangan struktur sekunder berupa pelat menggunakan tabel 13.3.1 PBI-1971. Persyaratan penulangan yaitu :

1. Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2)
2. Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu
3. Kontrol keperluan tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12 dan pasal 7.12.2.2)

Kontrol panjang penyaluran (SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.3 dan 13.13.4)

3.6 Permodelan Struktur Bangunan

3.6.1 Pembebanan Struktur Bangunan

Dalam perencanaan pembebanan struktur beton bertulang perencanaan struktur bangunan Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya mengacu pada peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung tahun 1983 dan SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan strktur lain. Beberapa jenis beban yang harus ditinjau antara lain :

1. Beban Mati

Beban mati yang akan dihitung dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

- a. Beban mati pada pelat lantai atap , terdiri dari:
 - Beban sendiri struktur pelat lantai atap
 - Beban aspal

- Beban plafond dan penggantung
- Beban instalasi listrik
- Beban perpipaan
- b. Beban mati pada pelat lantai 1 s/d 12, terdiri dari
 - Beban sendiri struktur pelat lantai
 - Beban pasangan keramik dan spesi
 - Beban plafond dan penggantung
 - Beban instalasi listrik
 - Beban perpipaan
- c. Beban mati pada pelat lantai dasar
 - Beban sendiri struktur pelat lantai
 - Beban aspal
- d. Beban mati pada tangga, terdiri dari :
 - Beban sendiri pelat tangga
 - Beban anak tangga
 - Beban sendiri pelat bordes
 - Beban pasangan keramik dan spesi
- e. Beban mati pada balok, terdiri dari :
 - Beban sendiri balok
 - Beban dinding bata ringan

2. Beban Hidup

d. Beban hidup pada atap bangunan

- Beban hidup pada atap bangunan yang dapat dicapai dan dibebani manusia (pekerja) harus diambil minimum 96 kg/m^2 .
- Beban merata air hujan dengan direncanakan kemungkinan ketebalan air yang terjadi dengan rumus: $R = 0,0098(d_s + d_h)$

e. Beban hidup pada lantai Bangunan

Beban hidup pada lantai bangunan asrama ditetapkan sebagai berikut :

Beban hidup ruang pribadi = 192 kg/m^2

Beban hidup ruang publik = 479 kg/m^2

Beban hidup koridor = 479 kg/m^2

f. Beban hidup tangga

- Beban hidup merata

Beban hidup tangga = 479 kg/m^2

3. Beban Angin

Sebelum memulai proses perhitungan beban angin, pertama tentukan terlebih dahulu prosedur yang akan digunakan berdasarkan tingkat kerendahan suatu bangunan. Pada pasal 26.2 dijelaskan bahwa bangunan yang termasuk tingkat rendah ditentukan sebagai berikut :

f. Tinggi atap rata-rata, $h \leq 18$ meter

g. Tinggi atap rata-rata h tidak melebihi dimensi horizontal yang terkecil.

Apabila salah satu kondisi dari 2 persyaratan di atas tidak terpenuhi maka bangunan tersebut dapat dikategorikan bangunan tinggi.

Macam-macam prosedur perhitungan beban angin pada Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan syarat penggunaannya.

1. Prosedur pengarah untuk bangunan dari semua ketinggian seperti disyaratkan dalam pasal 27 untuk

bangunan memenuhi persyaratan yang disyaratkan di dalamnya.

2. Prosedur amplot untuk bangunan bertingkat rendah seperti yang disyaratkan dalam pasal 28 untuk bangunan memenuhi persyaratan yang disyaratkan di dalamnya.
3. Prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan (Struktur bagian atas atap dan peralatan bagian atas atap) dan struktur lainnya (Seperti dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas, cerobong asap, tangki, papan reklame terbuka, rangka kisi, dan menara rangka batang) seperti yang disyaratkan dalam pasal 29.
4. Prosedur terowongan angin untuk semua bangunan gedung dan struktur lain seperti disyaratkan pasal 31.

Setelah menentukan prosedur perhitungan yang digunakan dan mendapatkan nilai tekanan angin P . Maka untuk menghitung nilai beban angin yang terjadi menggunakan rumus di bawah ini. Hal ini dikarenakan beban angin yang terjadi pada bangunan dipikul oleh kolom.

- q_w pada kolom tepi $= q \times (1/2 \text{ jarak antar kolom})$
- q_w pada kolom tengah $= q \times \text{jarak antar kolom}$

4. Beban Gempa

Dalam perencanaan struktur beton Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya menggunakan gempa 2500 tahun (2% dalam 50 tahun). Beban gempa yang akan dihitung metode analisa respon spektrum. Beban gempa dimodelkan terhadap 2 sisi bangunan yaitu arah X dan arah Y.

Langkah-langkah perhitungan gaya gempa adalah sebagai berikut :

1. Menentukan tahanan penetrasi rata – rata, \bar{N} , dari data SPT (*Standard Penetration Test*) dengan rumus mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 5.4.2 dan kalasifikasi situs berdasarkan nilai \bar{N} sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.3 tabel 3

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n_i}}$$

2. Mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 untuk gempa 2500 tahun.
3. Menentukan koefisien situs periode 0,2 detik (F_a) sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.2 tabel 4 dan periode koefisien situs periode 1 detik (F_v) sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.2 tabel 5.
4. Menentukan parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R perioda pendek sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.2(5) dan parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R perioda 1,0 detik sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.2(6)
5. Menentukan parameter spektral desain perioda pendek sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.3 (7) dan parameter spektral desain perioda 1,0 detik sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.3 (8)
6. Faktor batas atas perioda (C_u) ditentukan menggunakan SNI 1726:2012 tabel 14
7. Menentukan perioda fundamental struktur T sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.8.2
8. Menentukan faktor keutamaan gempa, I_e , SNI 1726:2012 pasal 4.1.2 tabel 2 dan kategori resiko bangunan sesuai SNI 1726:2012 pasal 4.2.1 tabel 1
9. Menentukan koefisien modifikasi respons, R , SNI 1726:2012 pasal 7.2.2 tabel 9
10. Perhitungan koefisien respons seismik, C_s , sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1
11. Perhitungan geser dasar seismik sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.8.1

3.6.2 Kombinasi Pembebanan

Untuk mendapatkan gaya dalam yang tepat maka komponen struktur perlu dibebani dengan

kombinasi pembebanan yang telah ditetapkan pada
2.4.5

3.6.3 Kontrol Permodelan Struktur

Pada permodelan struktur dengan program komputer perlu dilakukan pengecekan sebagai verifikasi bahwa output yang dikeluarkan dapat digunakan sebagai acuan desain. Kontrol permodelan diantara lain :

1. Berat total struktur
2. Partisipasi massa
3. Base reaction
4. Kontrol Drift
5. Kontrol P-Delta

3.7 Analisa Gaya Dalam

Untuk menganalisa gaya dalam dari struktur bangunan yang dihitung menggunakan program analisa struktur ETABS

3.7.1 Analisa gaya dalam elemen pratekan

3.7.1.1 Pemilihan jenis dan mutu beton

Dalam perencanaan balok prategang dilakukan langkah – langkah dalam perhitungan yang akan di jelaskan sebagai berikut :

3.7.1.2 Desain Penampang

Penampang awal pratekan di desain menggunakan perhitungan pada sub bab 2.3.1.1

3.7.1.3 Gaya Pratekan

Penentuan gaya pratekan awal berpengaruh pada momen total, yang kemudian gaya tersebut akan disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai pemilihan penampang. Gaya pratekan berpengaruh pada tendon dan baja sesuai dengan eksentrisitas yang digunakan.

3.7.1.4 Jumlah dan tata letak kabel

Daerah limit kabel merupakan daerah batas dalam meletakkan tendon pada beton. Perhitungan limit kabel menggunakan perumusan pada 2.1.4.3

3.7.1.5 Kehilangan Pratekan

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat *stressing*. Kehilangan pratekan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu :

1. Kehilangan segera (kehilangan langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada pada komponen balok pratekan, yang terdiri dari :

- a. Kehilangan akibat pengangkurian
Kehilangan akibat pengangkurian terjadi pada saat tendon dilepas dari penarikan dan mengalami slip, rumus umum yang digunakan perumusan dan pada 2.1.3.1
- b. Kehilangan akibat perpendekan elastis menggunakan perumusan pada 2.1.3.1
- c. Kehilangan akibat gesekan di sepanjang tendon menggunakan perumusan pada 2.1.3.1

2. Kehilangan yang tergantung oleh waktu

Hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah :

- a. Kehilangan akibat rangkai
Kehilangan akibat rangkai terbagi menjadi dua, yaitu *bonded tendon* dan *unbonded tendon*. Rumus umum yang dipakai adalah perumusan pada 2.1.3.2
- b. Kehilangan akibat susut
Kehilangan akibat susut terjadi karena terjadinya perubahan kapasitas air pada beton. Perhitungan susut menggunakan perumusan pada 2.1.3.2
- c. Kehilangan akibat relaksasi baja

Kehilangan akibat relaksasi diakibatkan oleh baja karena sifat elastisitas baja itu sendiri. Perhitungan relaksasi baja menggunakan perumusan pada 2.1.3.2

3.7.1.6 Kontrol Tegangan

Tegangan beton tidak boleh melampaui nilai-nilai dalam SNI 03-2847-2013 ps. 18.4 dan tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai dalam SNI 03-2847-2013 ps. 18.5

Tegangan izin beton dan baja digunakan sesuai SNI 03-2847-2013 ps. 18.4

3.7.1.7 Kontrol Lendutan

Kita perlu menghitung kontrol lendutan karena lendutan merupakan tanda akan terjadinya kegagalan struktur, sehingga kita perlu untuk menghitung lendutan struktur agar tidak melebihi batas-batas yang telah ditetapkan. Lendutan dihitung menurut pembebanan, dimana berat sendiri dan beban eksternal mempengaruhi. (SNI 03-2847-2013 Ps.9.5.4) batas lendutan terdapat pada SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(b)

$$\Delta_{izin} = \frac{L}{480}$$

3.7.1.8 Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan

Kuat batas balok pratekan yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus dihitung sesuai pada 2.1.4.1

3.7.1.9 Penulangan Lentur

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap penampang mencapai kuat nominal (fps) yang menghasilkan nilai momen nominal. Nilai fps pada balok dapat dihitung menggunakan perumusan pada SNI 03-2847-2013 Ps.18.7. nilai momen nominalnya dapat dihitung menggunakan perumusan pada 2.5.2.1

3.7.1.10 Penulangan Geser

Kontrol geser serta perhitungan tulangan geser didasari pada SNI 03-2847-2013 ps.11.3. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

3.7.1.11 Pengangkuran

Pengangkuran dilakukan untuk mencegah kegagalan yang diakibatkan hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Ps. 18.13.

3.7.2 Analisa gaya dalam elemen non-pratekan

Penulangan dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dengan memperhatikan standar penulangan serta menggunakan data yang diperoleh dari ETABS. Perhitungan penulangan dilakukan pada elemen struktur primer yakni balok dan kolom

3.7.2.1 Detail Perhitungan Balok

Persyaratan penulangan :

- Kontrol M_n pasang $\geq M_n$ penulangan lentur
- Kontrol kapasitas penulangan lentur balok untuk desain SRPMK (SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1).
- Kontrol penulangan geser balok untuk desain SRPMK (SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 dan pasal 21.3.4.3).
- Kontrol kebutuhan tulangan torsi (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2 sampai dengan pasal 11.5.6)

3.7.2.2 Detail Perhitungan Kolom

Persyaratan penulangan :

- Kontrol momen yang terjadi M_n pasang $\geq M_n$
- Kontrol dimensi (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.5 sampai dengan pasal 10.10.6).
- Kontrol penulangan kolom untuk desain SRPMK (SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2).

3.8 Hubungan Balok Kolom

Perhitungan HBK pada sistem rangka pemikul momen khusus harus sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.7.4.1 sampai 21.7.4.2

3.9 Detail Perhitungan Struktur Fondasi

Perencanaan struktur fondasi ini menggunakan fondasi tiang pancang. Persyaratan fondasi mengacu pada tata cara SNI

1726:2012 pada pasal 7.13 bahwa untuk perencanaan fondasi kategori desain seismik C dan D bisa menggunakan tiang pancang. Fondasi tipe ini biasanya digunakan untuk tanah lunak, tanah berawa dengan kondisi data dukung tanah kecil. Perencanaan fondasi yaitu :

1. Daya dukung izin fondasi dihitung menggunakan metode meyerhoff dari data SPT diperoleh nilai konus.
2. Perencanaan kelompok tiang pancang merujuk buku Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck
3. Perencanaan poer mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 21.12.2

3.10 Gambar Perencanaan

a. Gambar arsitektur, terdiri dari :

- Gambar denah
 - Denah lantai 1
 - Denah lantai 2 hingga lantai 5
- Gambar tampak
 - Tampak depan
 - Tampak belakang
 - Tampak Samping Kiri
 - Tampak Samping Kanan
- Gambar potongan
 - Potongan memanjang
 - Potongan melintang

b. Gambar struktural, terdiri dari :

- Gambar denah
 - Sloof
 - Fondasi
 - Pelat
 - Balok
 - Kolom
- Gambar penulangan
 - Sloof
 - Fondasi
 - Pelat dan tangga
 - Balok

- Kolom
- Gambar detail :
Gambar detail panjang penyaluran, meliputi :
 - Panjang penyaluran Sloof
 - Panjang penyaluran Fondasi
 - Panjang penyaluran Pelat tangga
 - Panjang penyaluran Balok
 - Panjang penyaluran Kolom

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi (Preliminary Design)

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

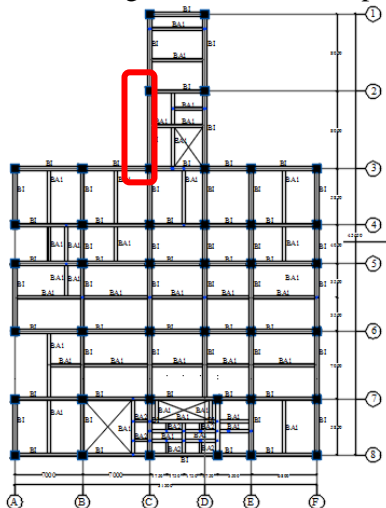
4.1.1a Balok Induk

Dasar Perencanaan (SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a)

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/12$.
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times (f_y/700)$.

1. Balok As C

- Jenis Balok : Balok Induk
- Bentang Balok : 800 cm
- Kuat leleh Tulangan Lentur : 400 Mpa



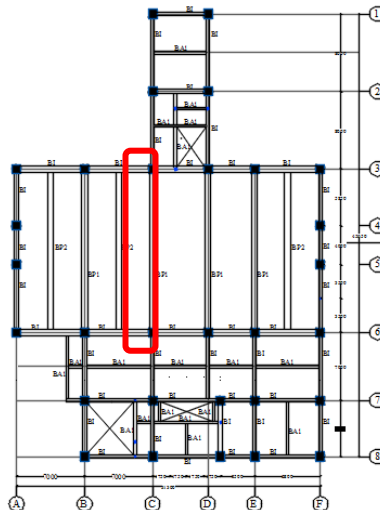
Gambar 4.1 Denah Balok Induk yang ditin

- Dimensi rencana

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{1}{12} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \\
 &= \frac{1}{12} \times 800 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \\
 &= 64,7 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm} \\
 b &= \frac{2}{3} \times b = \frac{2}{3} \times 70 \text{ cm} = 46,6 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm} \\
 &\text{maka BI dipakai } 40/70
 \end{aligned}$$

2. Balok As C

- Jenis Balok : Balok Pratekan
- Bentang Balok : 1685 cm
- Kuat leleh Tulangan Lentur : 400 Mpa



Gambar 4.2 Denah Balok pratekan yang ditinjau

- Dimensi rencana

$$h = \frac{1}{16} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \times 0,75$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{16} \times 1685 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \times 0,75 \\
 &= 78,9 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm} \\
 b &= \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 80 \text{ cm} = 53,3 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm} \\
 &\text{maka BP dipakai } 50/80
 \end{aligned}$$

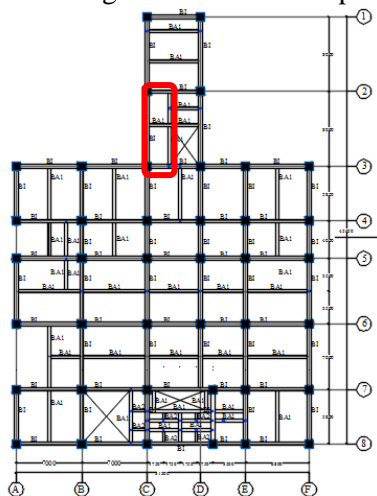
4.1.1b Balok Anak

Dasar Perencanaan (SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a)

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/21$.
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times (f_y/700)$.

1. Balok As C'

- Jenis Balok : Balok Anak
- Bentang Balok : 800 cm
- Kuat leleh Tulangan Lentur : 400 Mpa



Gambar 4.3 Denah Balok Anak yang ditinjau

- Dimensi rencana

$$h = \frac{1}{21} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$= \frac{1}{21} \times 800 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$= 37,01 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 40 \text{ cm} = 26,67 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

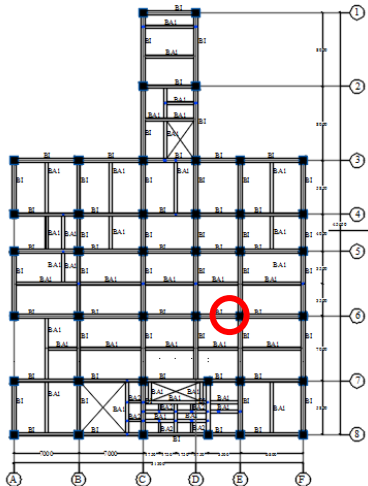
maka BA dipakai 30/40

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam menentukan dimensi kolom direncanakan berdasarkan ketentuan dasar bangunan metode SRPMK yaitu kolom kuat balok lemah. Dimensi kolom dihitung dengan memperhitungkan gaya aksial dengan syarat $P \leq A_g \cdot f'c/3$

a. Kolom Tipe 1(K1)

As kolom : 8 ; E



Gambar 4.4 Denah Kolom Tipe 1 yang ditinjau

Beban aksial kolom

Lantai Dasar

Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)
Sloof as 6 35/50	0,35	0,5	5,8		2	4872	
Sloof as E 35/50	0,35	0,5	7			2940	
Kolom	0,9	0,9	3			5832	
Plat	5,8	7				22330	32480
Total						35974	32480
Lantai 1							
Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)
BI as 6 40/70	0,4	0,7	5,8			3898	
BI as E 40/70	0,4	0,7	7			4704	
BA as 5'-6' 30/40	0,3	0,4	5,8			1670	
Dinding as 6			5,8	4		2651	
Dinding as E			3,5	4		1600	
Dinding as 5'			5,8	4	0,5	1325	
Kolom	0,9	0,9	4			7776	
Plat 1	3,5	5,8				8546	4872
Plat 2	3,5	5,8				8546	9724
Total						40716	14596

Lantai 2							
Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)
BI as 6 40/70	0,4	0,7	5,8			3898	
BI as E 40/70	0,4	0,7	7			4704	
BA as 5'-6' 30/40	0,3	0,4	5,8			1670	
Kolom	0,9	0,9	3,5			6804	
Plat 1	2,4	7				7073	6434

Plat 2	3,4	7				10020	11400
Total						34168	17835
Lantai 2 Mezzanine							
Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)
BI as 6 40/70	0,4	0,7	5,8			3898	
BI as E 40/70	0,4	0,7	7			4704	
BA as 5'-6' 30/40	0,3	0,4	5,8			1670	
Dinding as 6			7	3,5	0,5	1400	
Kolom	0,9	0,9	3,5			6804	
Plat 1	2,4	7				7073	6434
Plat 2	3,4	7				10020	6831
Total						35568	13265

Lantai 3							
Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)
BI as 6 40/70	0,4	0,7	5,8			3898	
BI as E 40/70	0,4	0,7	7			4704	
BA as 5'-6' 30/40	0,3	0,4	5,8			1670	
BA as 5" 30/40	0,3	0,4	3,4			979,2	
Dinding as E			7	3,5		2799	
Dinding as 5"			3,4	3,5		1360	
Kolom	0,9	0,9	3,5			6804	
Plat 1	2,4	7				7073	6434
Plat 2	3,4	7				10020	4570
Total						39306	11004

Lantai 4 s/d 8

Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)
BI as 6 40/70	0,4	0,7	5,8			3898	
BI as E 40/70	0,4	0,7	7			4704	
BA as 5'-6' 30/40	0,3	0,4	5,8			1670	
BA as 5" 30/40	0,3	0,4	3,4			979,2	
Dinding as E			7	3,5		2799	
Dinding as 5"			3,4	3,5		1360	
Kolom	0,8	0,8	3,5			5376	
Plat 1	2,4	7				7073	6434
Plat 2	3,4	7				10020	4570
Total						37878	11004
Lantai 9 s/d 11							
Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)
BI as 6 40/70	0,4	0,7	5,8			3898	
BI as E 40/70	0,4	0,7	7			4704	
BA as 5'-6' 30/40	0,3	0,4	5,8			1670	
BA as 5" 30/40	0,3	0,4	3,4			979,2	
Dinding as E			7	3,5		2799	
Dinding as 5"			3,4	3,5		1360	
Kolom	0,7	0,7	3,5			4116	
Plat 1	2,4	7				7073	6434
Plat 2	3,4	7				10020	4570
Total						36618	11004

Lantai 12							
Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)

BI as 6 40/70	0,4	0,7	5,8				3898	
BI as E 40/70	0,4	0,7	7				4704	
BA as 5'-6' 30/40	0,3	0,4	5,8				1670	
Dinding as E			3,4	3,5			1360	
Dinding as 5"			3,5	3,5			1400	
Kolom	0,7	0,7	3,5				4116	
Plat 1	3,5	5,8					8546	9724
Plat 2	3,5	2,4					3536	3217
Plat 3	3,5	3,4					5010	2285
Total							34239	15226
Lantai Atap								
Elemen	b	h	L	tp	n	Qd	Ql	
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)	(kg)	
BI as 6 50/80	0,5	0,8	5,8			5568		
BI as E 40/70	0,4	0,7	3,5			2352		
BP as E 50/80	0,5	0,8	16,8		2	24192		
BA as 6" 30/40	0,3	0,4	5,8		0,5	835,2		
Plat 1	5,8	20				46090	11331	
Total							79037	11331

Dimensi kolom K1 (Base s/d Lt 3)

Beban yang diterima

$$Q_d = 598896,5507 \text{ kg}$$

$$Q_l = 182291,88 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(598896,5507) + 1,6(182291,88) \\ &= 1010342,869 \text{ kg} \\ &= 10103428,69 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_g = \frac{P_u \times 3}{f_c} = \frac{10103428,69 \times 3}{35} = 866008,1 \text{ mm}^2$$

$$b=d = \sqrt{A_g} = \sqrt{866008,1} = 930,6 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}$$

maka kolom K1 dipakai 90/90

Dimensi kolom K2 (Lt 4 s/d Lt 8)

Beban yang diterima

$$Q_d = 449138,9122 \text{ kg}$$

$$Q_l = 125592,58 \text{ kg}$$

$$P_u = 1,2D + 1,6 L$$

$$= 1,2(449138,9122) + 1,6(125592,58)$$

$$= 739914,8226 \text{ kg}$$

$$= 7399148,226 \text{ N}$$

$$A_g = \frac{P_u \times 3}{f_c} = \frac{7399148,226 \times 3}{35} = 634212,7051 \text{ mm}^2$$

$$b=d = \sqrt{A_g} = \sqrt{634212,70} = 796,4 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$$

maka kolom K2 dipakai 80/80

Dimensi kolom K3 (Lt 9 s/d Lt 12)

Beban yang diterima

$$Q_d = 259748,4422 \text{ kg}$$

$$Q_l = 70572,58 \text{ kg}$$

$$P_u = 1,2D + 1,6 L$$

$$= 1,2(259748,4422) + 1,6(70572,58)$$

$$= 424614,2586 \text{ kg}$$

$$= 4246142,586 \text{ N}$$

$$A_g = \frac{P_u \times 3}{f_c} = \frac{4246142,586 \times 3}{35} = 363955,0788 \text{ mm}^2$$

$$b=d = \sqrt{A_g} = \sqrt{363955,0788} = 603,3 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$$

maka kolom K2 dipakai 70/70

4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat

Dimensi pelat lantai

Data perencanaan

$$(L_y) : 585 \text{ cm}$$

$$(L_x) : 570 \text{ cm}$$

$$(f_c') : 30 \text{ Mpa}$$

$$(f_y) : 400 \text{ Mpa}$$

BI (As C-3/4)	: 40 x 70 cm
BI (As D-3/4)	: 40 x 70 cm
BI (As 3-C/D)	: 40 x 70 cm
BI (As 4-C/D)	: 40 x 70 cm

Dimensi tebal pelat rencana ➔ 13,5 cm

Cek Persyaratan Dimensi Tebal Pelat Lantai

➤ Menghitung nilai β

Bentang bersih sumbu panjang (l_n) :

$$\begin{aligned} l_n &= L_y - \frac{b \text{ BI As C}}{2} - \frac{b \text{ BI As C}}{2} \\ &= 585 \text{ cm} - \frac{40 \text{ cm}}{2} - \frac{40 \text{ cm}}{2} \\ &= 545 \text{ cm} \end{aligned}$$

Bentang bersih sumbu pendek (s_n) :

$$\begin{aligned} s_n &= L_x - \frac{b \text{ BI As 3}}{2} - \frac{b \text{ BI As 3}}{2} \\ &= 570 \text{ cm} - \frac{40 \text{ cm}}{2} - \frac{40 \text{ cm}}{2} \\ &= 530 \text{ cm} \end{aligned}$$

❖ Maka nilai β adalah :

$$\beta = \frac{l_n}{s_n} = \frac{545 \text{ cm}}{530 \text{ cm}} \rightarrow 1,03$$

➤ Lebar jalur pemasangan penulangan pelat :

$$\begin{aligned} \text{Bentang panjang} &= 0,22 \times l_n \\ &= 0,22 \times 545 \text{ cm} \rightarrow 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bentang pendek} &= 0,22 \times s_n \\ &= 0,22 \times 530 \text{ cm} \rightarrow 117 \text{ cm} \end{aligned}$$

➤ Menghitung nilai ratio kekakuan balok terhadap pelat :

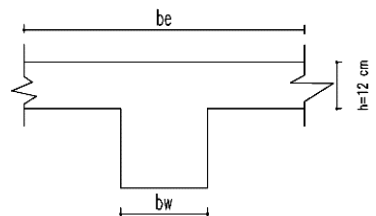
Untuk balok BI (As C-3/4) 40 cm x 70 cm

- Menentukan lebar efektif flens (Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2 h_w \leq b_w + 8 h_f$$

$$b_{e1} = b_w + 2 (h - t)$$

$$= 40 \text{ cm} + 2 (70 - 13,5) \text{ cm}$$



$$\begin{aligned}
 &= 153 \text{ cm} \\
 be_2 &= bw + 8 hf \\
 &= 40 \text{ cm} + 8 \cdot 13,5 \text{ cm} \\
 &= 148 \text{ cm} \\
 &\text{(dipilih nilai } be \text{ yang terkecil yaitu } 148 \text{ cm)}
 \end{aligned}$$

- Menentukan faktor modifikasi (Desain beton bertulang CHU-KIA WANG CHARKES G.SALMON 16.4.2.b)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w}\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{148}{40}\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{13,5}{70}\right) + \left(\frac{13,5}{70}\right)^2 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)}$$

$$K = 1,69$$

- Memon inersial penampang T

$$\begin{aligned}
 Ib &= K \left(\frac{bw \cdot h^3}{12} \right) \\
 &= 1,69 \left(\frac{40 \cdot 70^3}{12} \right) \rightarrow 1930627,096 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersial lajur pelat

$$\begin{aligned}
 Ip &= \frac{b_p \times t^3}{12} \\
 &= \frac{0,5 (350+570) \times 13,5^3}{12} \rightarrow 94314,375 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

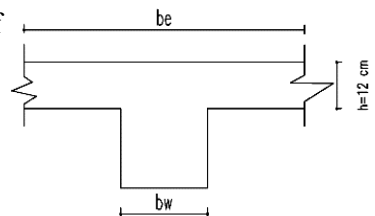
- ❖ Maka nilai kekakuan balok terhadap pelat adalah :

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \frac{Ib}{Ip} \\
 &= \frac{1930627,096 \text{ cm}^4}{94314,375 \text{ cm}^4} \rightarrow 20,47
 \end{aligned}$$

Untuk balok BI (As D-3/4) 40 cm x 70 cm

- Menentukan lebar efektif flens (Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$be = bw + 2 hw \leq bw + 8 hf$$



$$\begin{aligned}
 be_1 &= bw + 2(h-t) \\
 &= 40 \text{ cm} + 2(70 - 13,5) \text{ cm} \\
 &= 153 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 be_2 &= bw + 8 hf \\
 &= 40 \text{ cm} + 8 \cdot 13,5 \text{ cm} \\
 &= 148 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

(dipilih nilai be yang terkecil yaitu 148 cm)

- Menentukan faktor modifikasi (Desain beton bertulang CHU-KIA WANG CHARKES G.SALMON 16.4.2.b)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w}\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{148}{40}\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{13,5}{70}\right) + \left(\frac{13,5}{70}\right)^2 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)}$$

$$K = 1,69$$

- Memon inersial penampang T

$$\begin{aligned}
 Ib &= K \left(\frac{bw \cdot h^3}{12} \right) \\
 &= 1,69 \left(\frac{40 \cdot 70^3}{12} \right) \rightarrow 1930627,096 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersial lajur pelat

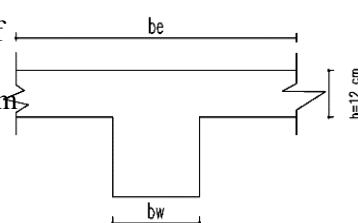
$$\begin{aligned}
 Ip &= \frac{b_p \times t^3}{12} \\
 &= \frac{0,5(570+480) \times 13,5^3}{12} \rightarrow 107641,4063 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- ❖ Maka nilai kekakuan balok terhadap pelat adalah :

$$\begin{aligned}
 \alpha_2 &= \frac{Ib}{Ip} \\
 &= \frac{1930627,096 \text{ cm}^4}{107641,4063 \text{ cm}^4} \rightarrow 17,94
 \end{aligned}$$

Untuk balok BI (As 3-C/D) 40 cm x 70 cm

- Menentukan lebar efektif flens (Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$\begin{aligned}
 b_e &= b_w + 2 h_f \leq b_w + 8 h_f \\
 b_{e1} &= b_w + 2 (h-t) \\
 &= 40 \text{ cm} + 2 (70 - 13,5) \text{ cm} \\
 &= 153 \text{ cm} \\
 b_{e2} &= b_w + 8 h_f \\
 &= 40 \text{ cm} + 8 \cdot 13,5 \text{ cm} \\
 &= 148 \text{ cm}
 \end{aligned}$$


(dipilih nilai b_e yang terkecil yaitu 148 cm)

- Menentukan faktor modifikasi (Desain beton bertulang CHU-KIA WANG CHARKES G.SALMON 16.4.2.b)

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w}\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)} \\
 K &= \frac{1 + \left(\frac{148}{40}\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{13,5}{70}\right) + \left(\frac{13,5}{70}\right)^2 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)}
 \end{aligned}$$

$$K = 1,69$$

- Memon inersial penampang T

$$\begin{aligned}
 I_b &= K \left(\frac{b_w \cdot h^3}{12} \right) \\
 &= 1,69 \left(\frac{40 \cdot 70^3}{12} \right) \rightarrow 1930627,096 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersial lajur pelat

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{b_p \times t^3}{12} \\
 &= \frac{0,5 (585) \times 13,5^3}{12} \rightarrow 59971,64063 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- ❖ Maka nilai kekakuan balok terhadap pelat adalah :

$$\begin{aligned}
 \alpha_3 &= \frac{I_b}{I_p} \\
 &= \frac{1930627,096 \text{ cm}^4}{59971,64063 \text{ cm}^4} \rightarrow 32,19
 \end{aligned}$$

Untuk balok BI (As 4-C/D) 40 cm x 70 cm

- Menentukan lebar efektif flens (Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2 h_w \leq b_w + 8 h_f$$

$$b_{e1} = b_w + 2 (h-t)$$

$$= 40 \text{ cm} + 2 (70 - 13,5) \text{ cm}$$

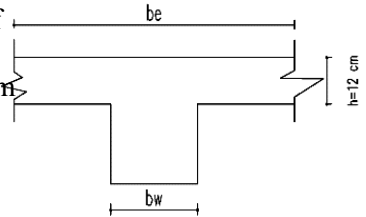
$$= 153 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + 8 h_f$$

$$= 40 \text{ cm} + 8 \cdot 13,5 \text{ cm}$$

$$= 148 \text{ cm}$$

(dipilih nilai b_e yang terkecil yaitu 148 cm)



- Menentukan faktor modifikasi (Desain beton bertulang CHU-KIA WANG CHARKES G.SALMON 16.4.2.b)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w}\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{148}{40}\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{13,5}{70}\right) + \left(\frac{13,5}{70}\right)^2 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{148}{40} - 1\right) \times \left(\frac{13,5}{70}\right)}$$

$$K = 1,69$$

- Momen inersial penampang T

$$I_b = K \left(\frac{b_w \cdot h^3}{12} \right)$$

$$= 1,69 \left(\frac{40 \cdot 70^3}{12} \right) \rightarrow 1930627,096 \text{ cm}^4$$

- Momen inersial lajur pelat

$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$= \frac{0,5 (585+400) \times 12^3}{12} \rightarrow 100977,8906 \text{ cm}^4$$

- ❖ Maka nilai kekakuan balok terhadap pelat adalah :

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$= \frac{1930627,096 \text{ cm}^4}{100977,8906 \text{ cm}^4} \rightarrow 19,12$$

➤ Rata-rata ratio kekakuan pelat dari 4 balok :

$$\begin{aligned} \alpha_m &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} \\ &= \frac{20,47 + 17,94 + 32,19 + 19,12}{4} \\ &= 22,429 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847-2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung pasal 9.5.3.3 berbunyi bahwa untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum h harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

Jika nilai rata-rata ratio kekakuan pelat (α_m) lebih besar dari 2,0 maka ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang $h =$

$$\frac{h_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \text{ dan tidak boleh kurang dari 90 cm.}$$

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{545 \text{ mm} \left(0,8 + \frac{400 \text{ Mpa}}{1400} \right)}{36 + (9 \times 1,03)} \\ &= 130,8 \text{ mm} \approx \text{dipakai } 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.1.4 Perencanaan Dimensi Tangga

Struktur tangga dimodelkan menyatu dengan struktur bangunan utama. Dalam perencanaan ini terdapat empat macam tipe tangga yaitu tangga tipe 1, tangga tipe 2, tangga tipe 3, dan tangga tipe 4. Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1 As (B-B'; 8-7).

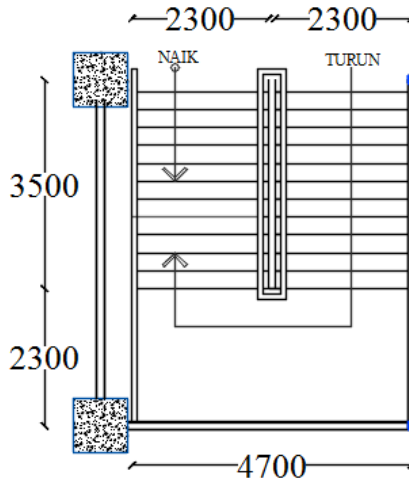
➤ Data perencanaan

Tipe tangga	: Tipe 1
Tinggi bordes	: 150 cm
Lebar bordes	: 230 cm
Panjang bordes	: 465 cm
Panjang datar tangga	: 350 cm
Lebar anak tangga	: 230 cm
Tinggi injakan	: 12,5 cm
Lebar injakan	: 30 cm

Tebal Pelat bordes : 15 cm

Tebal pelat tangga : 15 cm

➤ Gambar denah perencanaan



Gambar 4.5 Denah perencanaan tangga tipe 1

➤ Perhitungan perencanaan

Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{Tinggi bordes}}{\text{Tinggi injakan}} = \frac{150 \text{ cm}}{12,5 \text{ cm}} = 12 \text{ tanjakan}$$

Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1 = 12 - 1 = 11 \text{ injakan}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{\text{Tinggi bordes}}{\text{Panjang datar tangga}}$$

$$\alpha = \arctan \frac{150 \text{ cm}}{350 \text{ cm}}$$

$$\alpha = 23^\circ$$

Syarat sudut kemiringan

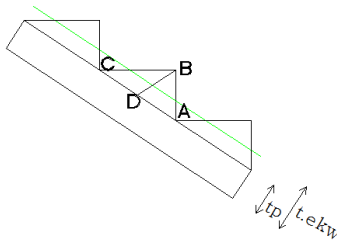
$$\alpha \leq 45^0$$

$$23^0 \leq 45^0 \text{(Memenuhi)}$$

Panjang miring anak tangga

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(\text{Lebar injakan})^2 + (\text{Tinggi injakan})^2} \\ &= \sqrt{(30 \text{ cm})^2 + (12,5 \text{ cm})^2} \\ &= 32,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tebal pelat ekuivalen



$$\frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{30 \text{ cm} \times 12,5 \text{ cm}}{32,5 \text{ cm}}$$

$$BD = 11,435 \text{ cm}$$

$$t.ekw = \frac{1}{2} \times BD + t_p$$

$$t.ekw = \frac{1}{2} \times 11,435 \text{ cm} + 15 \text{ cm}$$

$$t.ekw = 20,77 \text{ cm} \approx 21 \text{ cm}$$

maka tebal ekuivalen pelat tangga = 21 cm

Dari perhitungan di atas maka dengan cara yang sama didapatkan dimensi tangga sebagai berikut :

Tipe	tp	ti	li	T.BD	P.TG	nt	tp.e	α	Cek
------	----	----	----	------	------	----	------	----------	-----

1.1	15	12,5	30	150	350	12	20,77	23	OK
1.2	15	17	30	200	350	12	22,4	30	OK
1.3	15	15	30	175	350	12	21,71	27	OK
1.4	15	17	30	215	350	13	22,4	32	OK
2.1	15	12,5	30	150	330	12	20,77	24	OK
2.2	15	17	30	200	330	12	22,4	31	OK
2.3	15	15	30	175	330	12	21,71	28	OK
2.4	15	17	30	215	330	13	22,4	33	OK
3.1	15	20	30	175	240	9	23,32	36	OK
3.2	15	20	30	175	240	9	23,32	36	OK
Ram	15	15	30	105	195	7	21,71	28	OK

Dimana :

- tp = tebal plat (cm)
 ti = Tinggi injakan (cm)
 li = Lebar injakan (cm)
 T.BD = Tinggi Bordes (cm)
 P.TG = Panjang Tangga (cm)
 nt = Jumlah tanjakan (buah)
 tp.e = Tebal plat efektif (cm)
 α = sudut kemiringan (derajat)

4.1.5 Perencanaan Dimensi Sloof

Dasar Perencanaan (SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a)

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/16$.
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times (f_y/700)$.

1. Sloof

- Jenis Sloof : Balok Sloof

Lapisan ke-i	tebal lapisan (m)	Nilai SPT (N)	di/Ni
1	1		
2	3,5	19,5	0,17949
3	6	13,33333	0,45
4	3,5	21,5	0,16279
5	3,5	29,5	0,11864
6	4	27	0,14815
7	6	39,33333	0,15254
8	2,5	27,5	0,09091
Σ	30		1,30252

Nilai N ditentukan dengan rumus berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{1,3025} = 23,03$$

karena $15 < N < 50$ maka tanah termasuk kelas situs SD(Tanah Sedang)

2. Kategori resiko bangunan

Bangunan yang ditinjau merupakan fasilitas pendidikan maka berdasarkan tabel 1 SNI 1726:2012 maka kategori resiko bangunan adalah IV

3. Menentukan nilai S_s dan S_1

Berdasarkan peta hazard gempa indonesia 2010 kota surabaya memiliki nilai $S_s = 0,6$ dan $S_1 = 0,2$ untuk gempa desain 2500 tahun.

4. Menentukan F_a dan F_v

Nilai F_v dan F_a didapatkan dari tabel 5 dan tabel 4 SNI 1726:2012. Nilai F_v dan F_a dapat diperoleh menggunakan interpolasi linier dari kedua tabel tersebut.

Tabel 4.1 Interpolasi nilai F_a

S_s	F_a
0,5	1,4
0,75	1,2

Untuk nilai $S_s = 0,4$ maka

$$F_a = 1,2 + \frac{(0,6 - 0,5) \times (1,2 - 1,4)}{(0,75 - 0,5)}$$

$$F_a = 1,32$$

Tabel 4.2 Interpolasi nilai F_v

S₁	F_v
0,1	2,4
0,2	2

Untuk nilai $S_1 = 0,15$ maka

$$F_v = 2,4 + \frac{(0,2 - 0,1) \times (2 - 2,4)}{(0,2 - 0,1)}$$

$$F_v = 2$$

5. Menentukan S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,32 \times 0,6 = 0,792$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2 \times 0,2 = 0,4$$

6. Menentukan S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,792 = 0,528$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,4 = 0,267$$

7. Kategori desain seismik (KSD)

Plot S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Plot S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori resiko
----------------	-----------------

	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,2 \leq S_{D1}$	D	D

Dari kedua plot tabel di atas menunjukkan bahwa struktur berada pada KDS D. Berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2013 maka struktur dapat didesain dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

4.3 Permodelan struktur

4.3.1 Pembebanan Struktur

4.3.1.1 Pembebanan Struktur Pelat Lantai

Pembebanan yang diberikan ada struktur pelat disesuaikan dengan SNI 1727:2013 pasal 3.1.2. Sesuai peraturan tersebut maka beban mati pelat akan dibebani sesuai dengan beban material yang sesungguhnya. Oleh sebab itu data berat material yang diambil adalah berdasarkan survei material yang terdapat dari brosur toko, pabrik, atau internet. Untuk beban-beban yang tidak memiliki informasi jelas maka pembebanan mengacu pada PPIUG 1983. Untuk beban hidup pelat, beban yang diberikan mengacu pada SNI 1727:2013 tabel 4-1. Beban hujan yang diberikan pada pelat atap mengacu SNI 1727:2013 pasal 8.3. Kombinasi pembebanan yang digunakan pada pelat yaitu $1,2D+1,6L$ yang mengacu pada SNI 1727:2013 pasal 2.3.2.

Beban mati

- o Data material hasil survei :

Beban yang dipakai adalah material yang memiliki berat paling besar pada masing-masing jenis. Beban yang digunakan adalah sebagai berikut :

Keramik = $16,5 \text{ kg/m}^2$

Plafon	= 1,49 kg/m ²
Penggantung	= 8 kg/m ²
○ Beban mati dari PPIUG 1983 :	
Aspal	= 14 kg/m ²
Spesi	= 21 kg/m ²

Beban hidup (sesuai SNI 1727:2013 tabel 4-1)

Ruang publik	= 479 kg/m ²
Ruang pribadi	= 192 kg/m ²
Koridor	= 479 kg/m ²
Atap	= 96 kg/m ²

Beban air hujan (SNI 1727:2013 pasal 8.3)

$$R=0,0098(d_s+d_h)$$

$$R=0,0098(20+10)$$

$$R=0,294 \text{ kN/m}^2$$

$$R=29,4 \text{ kg/m}^2$$

Rekapitulasi beban per ruangan per lantai

Dari beban-beban yang telah dihitung maka dapat dibuat rekapitulasi pembebanan pelat per ruangan per lantai yang terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban hujan sebagai berikut :

Beban pelat Parkiran

Pelat (t=20 cm)	= 0,20 x 2400 kg/m ³	= 480 kg/m ²
Aspal (t= 5 cm)	= 5 x 14 kg/m ²	= 70 kg/m ²
	Total	= 550 kg/m ²

Beban palat lantai (Lt 1- Lt 12)

Pelat (t=12 cm)	= 0,12 x 2400 kg/m ³	= 288 kg/m ²
Keramik (t=1 cm)	= 1 x 16,5 kg/m ²	= 16,5 kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 2 x 21 kg/m ²	= 48 kg/m ²
Plafon		= 1,49 kg/m ²
Penggantung		= 8 kg/m ²
Instalasi listrik		= 40 kg/m ²

Pipa		= 25	kg/m ²
	Total	= 421	kg/m ²
<i>Beban pelat atap</i>			
Pelat (t=12 cm)	= 0,12 x 2400 kg/m ³	= 388	kg/m ²
Aspal (t= 2 cm)	= 2 x 14 kg/m ²	= 28	kg/m ²
Plafon		=1,49	kg/m ²
Penggantung		= 8	kg/m ²
Instalasi listrik		= 40	kg/m ²
Pipa		= 25	kg/m ²
	Total	= 390	kg/m ²

4.3.1.2 Pembebanan Struktur Tangga

Pembebanan pada struktur tangga memiliki kesamaan dengan pembebanan pelat lantai yaitu sesuai SNI 1727:2013 pasal 3.1.2.

Beban mati

- Data hasil survei :

Beban yang dipakai adalah material yang memiliki berat paling besar pada masing-masing jenis. Beban yang digunakan adalah sebagai berikut :

Keramik = 16,5 kg/m²

- Beban mati dari PPIUG 1983 :

Spesi = 21 kg/m²

Beban hidup (SNI 1727:2013 pasal 4.5)

Beban hidup tangga tetap = 497 kg/m²

Rekapitulasi pembebanan struktur tangga

Pelat tangga

Beban mati

Pelat 22 cm = 0,22 m x 2400 kg/m³ = 528 kg/m²

Spesi (1,5 cm) = 2 x 21 kg/m² = 42 kg/m²

Keramik	= 16,5 kg/m ²	= 16,5 kg/m ²
	Total	= kg/m ²

Beban hidup

Beban hidup tangga	= 479 kg/m ²
--------------------	-------------------------

Pelat bordes

Beban mati

Pelat 15 cm	= 0,15 m x 2400 kg/m ³	= 360 kg/m ²
-------------	-----------------------------------	-------------------------

Spesi (2 cm)	= 2 x 21 kg/m ²	= 42 kg/m ²
--------------	----------------------------	------------------------

Keramik	= 16,5 kg/m ²	= 16,5 kg/m ²
---------	--------------------------	--------------------------

Total	= kg/m ²
-------	---------------------

Beban hidup

Beban hidup bordes	= 479 kg/m ²
--------------------	-------------------------

4.3.1.3 Pembebanan Dinding

Komponen dinding dalam permodelan struktur dimodelkan *open frame* yaitu bukan sebagai komponen struktur melainkan sebagai beban yang membebani balok dan sloof. Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 3.1.2 beban struktur bangunan harus merupakan beban bahan konstruksi yang sebenarnya. Oleh sebab itu, beban dinding diambil dari hasil survei material dinding yang ada.

Beban dinding

- Data hasil survei :

Beban yang dipakai adalah material yang memiliki berat paling besar pada masing-masing jenis. Beban yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bata ringan	= 81,25 kg/m ²
-------------	---------------------------

Acian	= 3 kg/m ²
-------	-----------------------

Plesteran	= 30 kg/m ²
-----------	------------------------

Beban dinding total yaitu sebesar = 114,25/m²

Rekapitulasi beban dinding tiap lantai

Lantai	Ketinggian dinding (m)	Beban dinding (kg/m²)	Beban merata (kg/m)
Base	3	114,25	342,75
Lantai 1	4		457
Lantai 2-11	3,5		399,9
Lantai 12	4,3		491,28

Catatan : Beban dinding hanya dibebankan pada balok tertentu yang di atasnya memikul beban dinding.

4.3.1.4 Pembebanan Angin

Dalam perhitungan beban angin ini menggunakan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung gedung dan struktur lain. Dalam peraturan ini beban angin untuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) harus ditentukan dengan menggunakan salah satu dari 4 prosedur yaitu prosedur pengarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian, prosedur amplop untuk bangunan gedung tingkat rendah, prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan gedung dan struktur-struktur lain, dan prosedur terowongan angin untuk setiap bangunan gedung atau struktur lain.

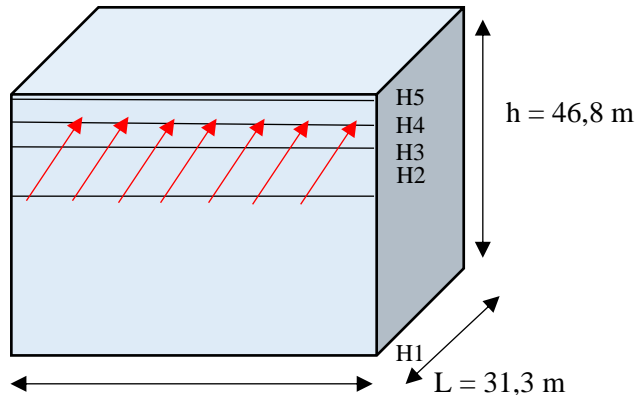
Berikut ini perhitungan beban angin terhadap bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya :

❖ **Arah Datang Angin Tegak Lurus Panjang Bangunan**

a. Data Bangunan

- Fungsi bangunan : Fasilitas pendidikan
- Tinggi bangunan (h) : 46,8 meter
- Lebar bangunan (L) : 31,3 meter
- Panjang bangunan (P) : 45,7 meter

- Jumlah lantai : 12 lantai
- H1 : 3 meter
- H2 : 4 meter
- H3 s/d H 11 : 3,5 meter
- H12 : 4,3 meter
- Jenis atap : Datar ($\alpha = 0$)



Kategori Bangunan $P = 45,7 \text{ m}$

➤ **Bangunan Tertutup**

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2 bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya ini termasuk dalam kategori bangunan gedung tertutup. Hal ini dikarenakan bangunan tidak memiliki luas bukaan dinding yang menerima tekanan eksternal positif lebih dari 10%.

➤ **Bangunan gedung betingkat tinggi**

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2 bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya ini termasuk dalam kategori bangunan gedung bertingkat tinggi. Hal ini dikarenakan bangunan adalah bangunan tertutup yang memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Tinggi rata-rata $h \leq 60 \text{ ft}$ (18 meter)

46,8 meter \geq 18 meter (*Tidak memenuhi*)

2. Tinggi rata-rata $h \leq$ Dimensi horizontal terkecil

$$46,8 \text{ meter} \geq 31,3 \text{ meter (Tidak Memenuhi)}$$

Karena bangunan tidak memenuhi syarat sebagai bangunan tingkat rendah maka gedung masuk kategori bangunan tingkat tinggi.

➤ Bangunan Kaku

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2 bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya ini termasuk dalam kategori bangunan gedung kaku. Hal ini dikarenakan bangunan memiliki frekuensi fundamental atau frekuensi alami (n_a) lebih besar atau sama dengan 1 Hz. $n_a = 43,5 / h^{0,9}$ (Untuk beton bangunan rangka penahan momen) Rumus n_a tersebut dapat dipakai jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Tinggi bangunan ≤ 300 ft (91 meter)

$$46,8 \text{ meter} \leq 91 \text{ meter (Memenuhi)}$$

2. Tinggi bangunan $< 4 L_{\text{eff}}$

$$L_{\text{eff}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i L_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{((8,3 \text{ m} \times 31,3 \text{ m}) + [(3,5 \text{ m} \times 31,3 \text{ m}) \times 12])}{4 \text{ m} + 4,3 \text{ m} + (3,5 \text{ m} \times 12)}$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{1565 \text{ m}^2}{46,8 \text{ m}} = 33,4 \text{ m}$$

$$\text{Syarat : Tinggi bangunan} < (4 \times L_{\text{eff}})$$

$$46,8 \text{ m} < 134 \text{ m (Memenuhi)}$$

Mengingat 2 persyaratan diatas memenuhi, maka untuk menghitung nilai frekuensi fundamental atau frekuensi alami dapat menggunakan rumus $n_a = 43,5 / h^{0,9}$

$$\begin{aligned} n_a &= \frac{43,5}{h^{0,9}} \\ &= \frac{43,5}{(46,8)^{0,9}} = 1,4 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Syarat bangunan kaku nilai $n_a > 1 \text{ Hz}$ (Memenuhi)

b. Prosedur Perhitungan Beban Angin yang dipakai

Berdasarkan informasi data bangunan dan kategori bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya di atas, Maka prosedur perhitungan yang dipakai adalah prosedur pengarah. Hal ini dikarenakan prosedur ini dapat dipakai untuk bangunan gedung seluruh ketinggian (bangunan tinggi atau bangunan rendah).

c. Langkah Perhitungan Beban Angin Prosedur Pengarah

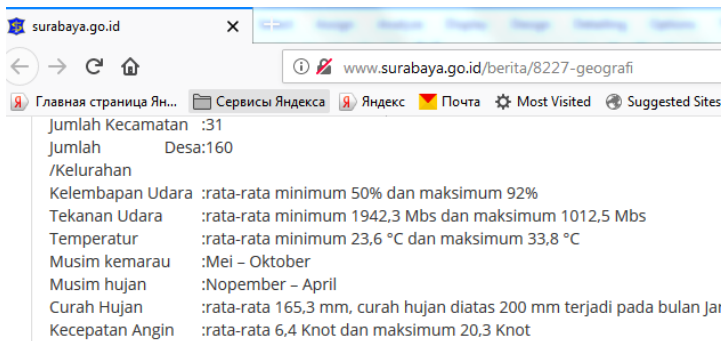
perhitungan beban angin prosedur pengarah diatur dalam SNI 1727-2013 pasal 27. Berikut ini langkah-langkah perhitungannya :

1. Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Untuk menentukan kategori risiko suatu bangunan dapat diklasifikasikan berdasarkan penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung itu sendiri. gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya ini memiliki fungsi sebagai fasilitas pendidikan yaitu sama halnya dengan fungsi bangunan apartemen atau hotel yang tergolong dalam kategori risiko IV. (SNI 1727-2013, pasal 1.2 dan tabel 1.5-1).

2. Menentukan Kecepatan Angin Dasar (V)

Besar kecepatan angin dasar yang digunakan dalam perencanaan Gedung Asrama Mahasiswa ini didapatkan dari data BMKG berdasarkan lokasi tempat bangunan akan didirikan yaitu kota Sumenep. Dimana nilai kecepatan angin dasar (V) untuk kota Surabaya sebesar 20,3 Knot = 10,45 m/s



Gambar 4.7 : Nilai Kecepatan Angin Dasar Kota Surabaya
 (Sumber : www.surabaya.go.id/berita/8227-geografi)

8. Menentukan Parameter Beban Angin :

➤ Faktor arah angin (K_d)

Untuk menentukan besar faktor arang angin (K_d) dapat melihat SNI 1727-2013 pasal 26.6 dan tabel 26.6-1

Tabel 4.3 : Faktor Arah Angin (K_d)

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Berdasarkan pada tabel faktor arah angin diatas, Maka besar faktor K_d yang digunakan adalah 0,85. Hal ini dikarenakan dalam Tugas Akhir ini objek yang dihitung adalah bangunan gedung dengan atap datar dan beban angin yang menggunakan sistem penahan beban angin utama.

➤ Kategori eksposur

Kategori eksposur yang digunakan dalam perencanaan beban angin ini adalah eksposur jenis B. Hal ini dikarenakan direncanakan bangunan akan dibangun di tengah perkotaan (kekasaran permukaan B) dengan tinggi bangunan lebih dari 9,1 meter dan bangunan berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari yang terbesar antara 792 meter dengan 20 tinggi bangunan. (Lihat SNI 1727-2013, pasal 26.7).

➤ Faktor topografi (K_{zt})

Nilai faktor topografi (K_{zt}) yang digunakan dalam perencanaan ini adalah 1,0. Hal ini dikarenakan kondisi situs dan lokasi gedung tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam pasal 26.8.1 yaitu yang berbunyi bahwa bangunan berada di atas bukit, bukit memanjang, dan tebing curam. Sedangkan bangunan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya yang direncanakan dalam Tugas Akhir ini akan dibangun di tengah Kota Surabaya, Jawa Timur. (Lihat SNI 1727-2013, 26.8.2).

➤ Faktor efek tiup angin (G)

Faktor efek tiupan angin untuk bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85 (Lihat SNI 1727-2013, pasal 26.9.1).

➤ Klasifikasi ketertutupan bangunan

Bangunan Gedung Asrama Mahasiswa masuk dalam klasifikasi bangunan tertutup. Hal ini dikarenakan bangunan Gedung Asrama tidak memiliki luas bukaan dinding yang menerima tekanan eksternal positif lebih dari 10% (Syarat dari bangunan tertutup sebagian) dan 80% (syarat dari bangunan terbuka). Lihat SNI 1727, pasal 26.10.

9. Menentukan Koefisien Eksposur Tekan Velositas (K_z atau K_h)

Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h) dapat ditentukan dari formula berikut : (SNI 1727-2013 pasal 27.3.1)

- o Untuk $15\text{ft} \leq z \leq Z_g \rightarrow$ Maka Menggunakan rumus K_z

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{2/\alpha}$$

- o Untuk $z \leq 15\text{ ft} \rightarrow$ Maka Menggunakan rumus K_z

$$K_z = 2,01 \left(\frac{15}{Z_g} \right)^{2/\alpha}$$

Diketahui nilai z (tinggi bangunan diatas tanah) bangunan gedung asrama mahasiswa adalah 46,8 meter (154 ft). Sedangkan nilai Z_g dari bangunan adalah 1200 ft (lihat SNI 1727-2013, tabel 26.9-1 dengan melihat kategori eksposur bangunan).

Berdasarkan data diatas, maka rumus yang dipakai adalah

$$15\text{ft} \leq z \leq Z_g$$

$$15\text{ft} \leq 154\text{ ft} \leq 1200\text{ft} \rightarrow \text{OKE}$$

$$\text{Sehingga nilai } K_z = 2,01 \left(\frac{154}{1200} \right)^{2/7} = 1,117$$

Mengingat atap bangunan adalah datar, maka nilai $K_z = K_h$

10. Menentukan Tekanan Velositas (q_z atau q_h)

Untuk mendapatkan nilai tekan velositas maka menggunakan persamaan $q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$

$$= 0,613 \cdot 1,117 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (10,45)^2$$

$$= 63,559 \text{ N/m}^2$$

Mengingat atap bangunan adalah datar, maka nilai $q_z = q_h$

(Lihat SNI 1727-2013, pasal 27.3.2)

11. Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

Untuk menentukan nilai C_p , dipengaruhi oleh jenis dinding dan atap yang digunakan dalam suatu bangunan. Mengingat bangunan gedung asrama mahasiswa menggunakan dinding dan atap datar, maka menggunakan tabel dibawah ini (Lihat SNI 1727-2013, pasal 27.4)

Tabel 4.4 : Menentukan Nilai Koefisien Tekanan Dinding (Cp)

Koefisien tekanan dinding, Cp			
Permukaan	L/B	Cp	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	qz
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	- 0,5	qh
	2	- 0,3	
	≥ 4	- 0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	qh

Dimana :

L = Dimensi horizontal bangunan tegak lurus arah datang angin

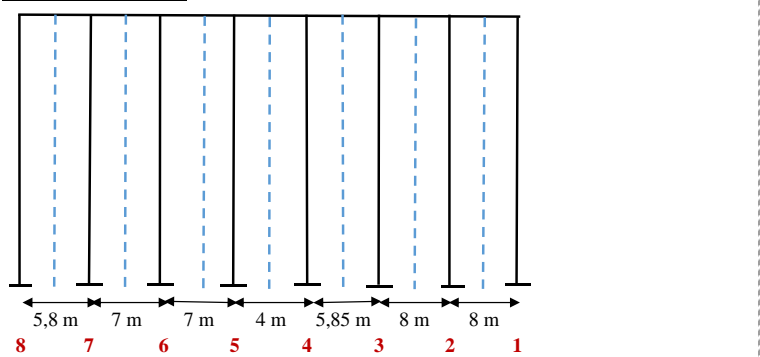
B = Dimensi horizontal bangunan sejajar arah datang angin

$$\frac{L}{B} = \frac{31,3\text{ m}}{45,7\text{ m}} = 0,69$$

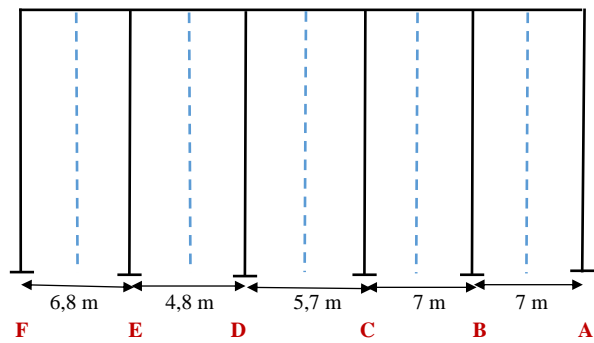
Maka nilai Cp dari bangunan gedung asrama mahasiswa adalah:

KOEFSISIEN TEKANAN DINDING (Cp)				
Permukaan	L/B	Cp	Digunakan dengan	q
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	qz	63,559
Dinding di sisi angin pergi	0,56	-0,5	qh	63,559
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	qh	63,559

TAMPAK SAMPING



TAMPAK DEPAN



Nilai beban angin terdistribusi pada kolom

Komponen	Kolom	Nilai	Satuan
Tekanan Angin Datang (Depan)	E	25,07	kg/m
	D	22,69	kg/m
	C	27,445	kg/m
	B	30,254	kg/m
Tekanan Angin Pergi(Belakang)	E	-15,667	kg/m
	D	-14,182	kg/m
	C	-17,153	kg/m
	B	-18,909	kg/m
Tekanan Dinding Tepi	8	-10,967	kg/m
	1	-15,127	kg/m
	F	-12,858	kg/m
	A	-13,236	kg/m

Komponen	Kolom	Nilai	Satuan
Tekanan Angin Pergi (Samping)	7	-17,288	kg/m
	6	-18,909	kg/m
	5	-14,857	kg/m
	4	-13,304	kg/m

	3	-18,706	kg/m
	2	-21,61	kg/m

4.3.1.5 Pembebanan Gempa

Beban gempa yang diterapkan pada bangunan menggunakan respons spektrum dengan urutan perhitungan sebagai berikut :

Berat total struktur bangunan

Tabel 4.5 Berat total bangunan

Lantai ke-	Mati			Hidup	Berat Per lantai
	Balok/Sloof + Kolom	Plat	Non Struktural		
Lt Dasar (W0)	487668	514462	133838	839829	1975798
Lt 1	657823,2	279076,2	292677	347601	1577177
Lt 2	597389,2752	294517,3	249195	411112	1552214
Lt 2M	573310,2	220424,8	217990	278783	1290508
Lt 3/11	4642311	2409197	2312688	2275214	11639410
Lt 12	474291	268268,8	244946	395189	1382695
Lt Atap	325742,4	257298,5	110042	85766,2	778849
Atp-atp		20155,68	7172,76	46318,6	73647
				Total	20270296

Berat efektif bangunan yang dipakai sebagai beban gempa adalah 100% beban mati dan 30% beban hidup sesuai dengan SNI 1726:2013 pasal 7.7.2.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{efektif}} &= 1D + 0,3L \\
 &= 1(15590483,61) + 0,3(4679812,629) \\
 &= 16994427,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan gaya geser dasar seismik

Data yang diperlukan untuk menentukan besarnya beban gempa statik adalah sebagai berikut :

1. Klasifikasi situs

Jenis situs tanah pada tempat bangunan akan dibangun dapat diketahui dari data SPT dengan menggunakan nilai \bar{N} dengan rumus berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Lapisan ke-i	tebal lapisan (m)	Nilai SPT (N)	di/Ni
1	1		
2	3,5	19,5	0,17949
3	6	13,33333	0,45
4	3,5	21,5	0,16279
5	3,5	29,5	0,11864
6	4	27	0,14815
7	6	39,33333	0,15254
8	2,5	27,5	0,09091
Σ	30		1,30252

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

$$\bar{N} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

$$\bar{N} = 23,3$$

Berdasarkan SNI 1727:2013 tabel 5.3, maka nilai $\bar{N}=23,3$ masuk pada kategori kelas situs SD(tanah sedang) karena $15 < 23,3 < 50$.

2. Faktor percepatan batuan dasar (S_s , S_1)

Nilai S_s merupakan parameter respons spektral untuk perioda pendek dan S_1 adalah parameter respons spektral untuk perioda 1,0 detik. Kedua parameter ini harus diambil berdasarkan peta hazard gempa Indonesia dengan kemungkinan 10% terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal. Berdasarkan gambar 2.5 dan 2.6 peta hazard gempa Indonesia 2010 maka nilai $S_s=0,6$ dan $S_1=0,2$.

3. Parameter respons spektral (F_v , F_a)

Nilai F_v dan F_a didapatkan dari tabel 5 dan tabel 4 SNI 1726:2012. Nilai F_v dan F_a dapat diperoleh menggunakan interpolasi linier dari kedua tabel tersebut.

Tabel 4.6 Interpolasi nilai F_a

S_s	F_a
0,5	1,4
0,75	1,2

Untuk nilai $S_s = 0,4$ maka

$$F_a = 1,2 + \frac{(0,6-0,5) \times (1,2-1,4)}{(0,75-0,5)}$$

$$F_a = 1,32$$

Tabel 4.7 Interpolasi nilai F_v

S_1	F_v
0,1	2,4
0,2	2

Untuk nilai $S_1 = 0,15$ maka

$$F_v = 2,4 + \frac{(0,2-0,1) \times (2-2,4)}{(0,2-0,1)}$$

$$F_v = 2$$

4. Faktor koefisien situs (S_{ms} , S_{m1})

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{ms}) = $F_a \cdot S_s = 1,32 \times 0,6 = 0,792$

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{m1}) = $F_v \cdot S_1 = 2 \times 0,2 = 0,4$

5. Parameter percepatan desain (S_{ds} , S_{d1})

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, $S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 (0,792) = 0,528$

Parameter percepatan spektral dsain untuk perioda 1 detik, $S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 (0,4) = 0,267$

6. Faktor batas atas perioda hitung (C_u)

Faktor batas atas perioda ditentukan menggunakan SNI 1726:2012 tabel 14

SD1	Cu
0,3	1,4
0,2	1,5

Untuk nilai $S_{D1} = 0,165$ maka

$$C_u = 1,4 + \frac{(0,267-0,3) \times (1,5-1,4)}{(0,2-0,3)}$$

$$C_u = 1,43$$

7. Periode fundamental struktur (T)

Periode fundamental struktur ditentukan dari beberapa tahap berikut :

Perioda fundamental pendekatan $T_a = C_t \times h_n^x$

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$H = 49,8 \text{ m}$$

$$\text{Maka } T_a = 0,0466 \times 49,8^{0,9} = 1,57$$

Periode fundamental hasil program analisa struktur $T_c = 1,239$

Periode fundamental struktur yang digunakan harus memenuhi syarat berikut :

Jika $T_c > C_u.T_a$ maka $T = C_u.T_a$

Jika $T_a < T_c < T_u.T_a$ maka $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ maka $T = T_a$

$$T_c = 1,239$$

$$C_u.T_a = 1,43 \times 1,57 = 2,25$$

$$T_c < T_a$$

$$1,239 < 1,57, \text{ maka } T = T_a = 1,57$$

8. Faktor keutamaan (I_e)

Gedung asrama mahasiswa berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 1 termasuk bangunan kategori resiko IV dan berdasarkan tabel 2 nilai faktor keutamaan (I_e) = 1,5

9. Faktor modifikasi respons (R)

Sistem yang digunakan dalam perencanaan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah. Berdasarkan SNI 1726 :2012 tabel 9 rangka beton bertulang pemikul momen menengah ditetapkan nilai $R = 8$

10. Koefisien respons seismik (C_s)

Koefisien respons seismik ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,528}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,099$$

Syarat nilai C_s :

$$C_s < \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,267}{1,57 \left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,031$$

$$C_s > 0,044.S_{DS}.I_e = 0,044 \times 0,528 \times 1,5 = 0,034$$

Maka C_s diambil = 0,031

11. Geser dasar seismik (V)

Geser dasar seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \cdot W$$

$$V = 0,031 \cdot 16994427 \text{ kg}$$

$$V = 541233 \text{ kg}$$

4.3.2 Kombinasi Pembebanan

Untuk mendapatkan gaya dalam yang tepat maka komponen struktur perlu dibebani dengan kombinasi pembebanan yang telah ditetapkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.2.1

- 1) $U = 1,4D$
- 2) $U = 1,2D + 1,6L + 0,5R$
- 3) $U = 1,2D + 1,6L + 0,5L_r$
- 4) $U = 1,2D + 1,6R + 1L$
- 5) $U = 1,2D + 1,6R + 0,5W$
- 6) $U = 1,2D + 1,6L_r + L$
- 7) $U = 1,2D + 1,6L_r + 0,5W$
- 8) $U = 1,2D + 1W + 1L + 0,5R$
- 9) $U = 1,2D + 1W + 1L + 0,5L_r$
- 10) $U = 1,2D + 1,6L + 0,3E_x + 1E_y$
- 11) $U = 1,2D + 1,6L + 1E_x + 0,3E_y$
- 12) $U = 0,9D + 1W$
- 13) $U = 0,9D + 1E_x + 0,3E_y$
- 14) $U = 0,9D + 0,3E_x + 1E_y$

Untuk kombinasi beban gempa vertikal berdasarkan dan faktor reduksi maka kombinasi nomor 10,11,13, dan 14 dimodifikasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 besarnya beban gempa vertikal ditentukan sebesar $E_v = 0,2S_{ds}D$, kemudian faktor reduksi berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.4.2 didapatkan nilai $\rho = 1,3$. Modifikasi kombinasi pembebanan setelah mendapat pengaruh beban vertikal dan faktor reduksi adalah sebagai berikut:

$$10 \ U = (1,2 + 0,2S_{ds})D + 1,3E_x + 0,39E_y$$

$$11 \ U=(1,2+0,2Sds)D+0,39Ex+1Ey$$

$$13 \ U=(0,9-0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey$$

$$14 \ U=(0,9-0,2Sds)D+0,39Ex+1,3Ey$$

Untuk beban gempa, analisa terhadap arah gaya gempa yang berbalik arah maka ditambah kombinasi pembebanan sebagai berikut :

$$15 \ U=(1,2+0,2Sds)D-1,3Ex-0,39Ey$$

$$16 \ U=(1,2+0,2Sds)D-0,39Ex-1Ey$$

$$17 \ U=(0,9-0,2Sds)D-1,3Ex-0,39Ey$$

$$18 \ U=(0,9-0,2Sds)D-0,39Ex-1,3Ey$$

NB: tanda negatif(-) menandakan arah gempa yang berlawanan

4.3.3 Kontrol Permodelan struktur

4.3.3.1 Kontrol berat total struktur

Berat total struktur bangunan perlu dikontrol untuk memastikan pembebanan pada struktur tidak kurang atau melebihi desain. Seisih yang direncanakan tidak boleh melebihi 5%.

$$W_{\text{manual}} = 20270296 \text{ kg}$$

W_{etabs} dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.8 Berat total struktur output ETABS

TABLE: Base Reactions	
Load Case/Combo	FZ
	kN
Dead	114885,8
Live	47541,3
Live Roof	79,7616
Aspal	971,565
Plafon	171,2157
Penggantung	919,2411
Listrik	4965,267
Pipa	3103,292

Spesi1	5106,938
Kramik1	2006,297
Dinding	18973,43
Lift	396
Total	199120,106

Selisih perhitungan manual dan output ETABS

$$\begin{aligned} \% \text{Selisih} &= \frac{W_{\text{manual}} - W_{\text{etabs}}}{W_{\text{etabs}}} \times 100\% \\ &= \frac{20270296 - 199120,106}{199120,106} \times 100\% \\ &= 1,8 \% < 5\% \text{ (Oke)} \end{aligned}$$

4.3.3.2 Kontrol partisipasi masa

Rasio partisipasi masa struktur dalam analisis ragam tidak boleh kurang dari 90% sesuai persyaratan SNI 1726:2012 pasal 7.9.1.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY	Sum RX	Sum RY
		sec				
Modal	1	1,228	0,4573	0,053	0,0238	0,197
Modal	2	1,174	0,5094	0,7208	0,308	0,2186
Modal	3	1,115	0,7249	0,7249	0,3095	0,3098
Modal	4	0,413	0,7898	0,7347	0,339	0,5173
Modal	5	0,398	0,7988	0,8259	0,6426	0,5478
Modal	6	0,377	0,8286	0,8266	0,6451	0,647
Modal	7	0,239	0,8481	0,8341	0,6546	0,6718
Modal	8	0,234	0,8552	0,8623	0,6891	0,6807
Modal	9	0,22	0,8644	0,8628	0,6897	0,6926
Modal	10	0,176	0,8647	0,8706	0,7074	0,6933
Modal	11	0,17	0,8759	0,8708	0,7079	0,7198
Modal	12	0,167	0,876	0,8726	0,7124	0,7198
Modal	13	0,164	0,8764	0,8726	0,7124	0,7209

Modal	14	0,154	0,8764	0,8844	0,7407	0,7209
Modal	15	0,149	0,8853	0,8844	0,7407	0,7423
Modal	16	0,128	0,8863	0,8844	0,7407	0,7444
Modal	17	0,123	0,8872	0,8961	0,7616	0,746
Modal	18	0,121	0,8974	0,8973	0,7637	0,7641
Modal	19	0,097	0,8997	0,9054	0,7813	0,769
Modal	20	0,095	0,9084	0,9077	0,7865	0,7882
Modal	21	0,078	0,909	0,9152	0,8024	0,7895
Modal	22	0,072	0,9203	0,9157	0,8034	0,8133
Modal	23	0,06	0,9205	0,9269	0,8266	0,8137
Modal	24	0,046	0,9451	0,9271	0,8272	0,8661
Modal	25	0,041	0,9453	0,9498	0,8766	0,8665
Modal	26	0,022	0,9629	0,9498	0,8767	0,9077
Modal	27	0,014	0,963	0,9682	0,9204	0,9078

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada mode ke 27 rasio partisipasi masa telah $> 90\%$ maka syarat telah terpenuhi.

4.3.3.3 Kontrol perioda

Perioda fundamental struktur yang digunakan harus memenuhi syarat berikut :

Jika $T_c > C_u.T_a$ maka $T = C_u.T_a$

Jika $T_a < T_c < T_u.T_a$ maka $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ maka $T = T_a$

$T_c = 1,239$

$C_u.T_a = 1,43 \times 1,57 = 2,25$

$T_c < T_a$

$1,239 < 1,57$, maka $T = T_a = 1,57$

4.3.3.4 Kontrol base shear

Hasil base reaction permodelan struktur harus $> 85\% V_{statik}$

Tabel 4.9 Base shear output ETABS

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	kN	kN
Quake X	4218,732	290,3712
Quake Y	282,8964	4145,575

$V_{statik} = 541232,9338 \text{ kg} = 5412,329 \text{ kN}$

Cek base shear terhadap V_{statik}

$$\text{Arah X} = \frac{V_{\text{Respons}}}{V_{\text{Statik}}} \times 100\% = \frac{4218,7}{5412,329} \times 100\% = 78\% < 85\%$$
$$\text{Arah Y} = \frac{V_{\text{respons}}}{V_{\text{Statik}}} \times 100\% = \frac{4145,5}{5412,329} \times 100\% = 77\% < 85\%$$

Karena $V_{\text{Respons}} < 0,85 V_{\text{statik}}$ maka perlu faktor pengali untuk masing-masing arah gempa. Faktor pengali tersebut dihitung sebagai berikut :

$$\text{Arah X} = \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{Respons}}} \times 0,85 = \frac{5412,329}{4218,7} \times 0,85 = 1,103$$
$$\text{Arah Y} = \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{Respons}}} \times 0,85 = \frac{5412,329}{4145,5} \times 0,85 = 1,122$$

Faktor di atas dikalikan ada skala gempa pada *Load Case*. Setelah Runing ulang maka didapat V_{respons} Sebagai berikut :

Tabel 4.10 Base shear output ETABS setelah terskala

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	kN	kN
Quake X	4656,012	278,1831
Quake Y	281,4613	4669,38

Cek ulang base shear terhadap V_{statik}

$$\text{Arah X} = \frac{V_{\text{Respons}}}{V_{\text{Statik}}} \times 100\% = \frac{4656,01}{5412,329} \times 100\% = 86\% > 85\% \text{ (Oke)}$$

$$\text{Arah Y} = \frac{V_{\text{Respons}}}{V_{\text{Statik}}} \times 100\% = \frac{4669,3}{5412,329} \times 100\% = 86\% > 85\% \text{ (Oke)}$$

Dari perhitungan di atas diketahui $V_{\text{respons}} > 0,85 V_{\text{statik}}$ maka pembebanan gempa telah memenuhi syarat.

4.3.3.5 Kontrol story drift

Kontrol drift diperlukan untuk mencegah struktur mengalami displacement yang melebihi simpangan izin. Pengecekan simpangan dilakukan pada kedua arah X dan Y bangunan sebagai berikut:

Tabel 4.11 Kontrol simpangan arah X

Story	Load	Drift	Δ	$\Delta.Cd/I_e$	h	Δ_{izin}	CEK
	case	mm		mm	m	mm	
Lantai Atap	Ex	34,045	1,325	4,858	4,3	49,62	OKE
Lantai 12	Ex	32,72	1,340	4,913	3,5	40,38	OKE
Lantai 11	Ex	31,38	1,718	6,299	3,5	40,38	OKE
Lantai 10	Ex	29,662	2,079	7,623	3,5	40,38	OKE
Lantai 9	Ex	27,583	2,231	8,180	3,5	40,38	OKE
Lantai 8	Ex	25,352	2,481	9,097	3,5	40,38	OKE
Lantai 7	Ex	22,871	2,732	10,017	3,5	40,38	OKE
Lantai 6	Ex	20,139	2,973	10,901	3,5	40,38	OKE
Lantai 5	Ex	17,166	3,185	11,678	3,5	40,38	OKE
Lantai 4	Ex	13,981	3,212	11,777	3,5	40,38	OKE
Lantai 3	Ex	10,769	3,311	12,140	3,5	40,38	OKE
Lantai 2 Mezzanine	Ex	7,458	3,234	11,858	3,5	40,38	OKE
Lantai 2	Ex	4,224	3,109	11,400	3,5	40,38	OKE
Lantai 1	Ex	1,115	1,115	4,088	4	46,15	OKE
Base	Ex	0	0	0,000	3	34,62	OKE

Tabel 4.12 Kontrol simpangan arah Y

Story	Load	Drift	Δ	$\Delta.C_d/I_e$	h	Δ_{izin}	CEK
	case	mm		mm	m	mm	
Lantai Atap	Ey	29,051	1,053	3,861	4,3	49,62	OKE
Lantai 12	Ey	27,998	1,101	4,037	3,5	40,38	OKE
Lantai 11	Ey	26,897	1,436	5,265	3,5	40,38	OKE
Lantai 10	Ey	25,461	1,755	6,435	3,5	40,38	OKE
Lantai 9	Ey	23,706	1,885	6,912	3,5	40,38	OKE
Lantai 8	Ey	21,821	2,108	7,729	3,5	40,38	OKE
Lantai 7	Ey	19,713	2,333	8,554	3,5	40,38	OKE
Lantai 6	Ey	17,38	2,548	9,343	3,5	40,38	OKE
Lantai 5	Ey	14,832	2,738	10,039	3,5	40,38	OKE
Lantai 4	Ey	12,094	2,750	10,083	3,5	40,38	OKE
Lantai 3	Ey	9,344	2,818	10,333	3,5	40,38	OKE
Lantai 2 Mezzanine	Ey	6,526	2,735	10,028	3,5	40,38	OKE
Lantai 2	Ey	3,791	2,754	10,098	3,5	40,38	OKE
Lantai 1	Ey	1,037	1,037	3,802	4	46r,15	OKE
Base	Ey	0	0	0,000	3	34,62	OKE

Dimana :

$$\Delta = \text{Drift}_{(n+1)} - \text{Drift}_{(n-1)}$$

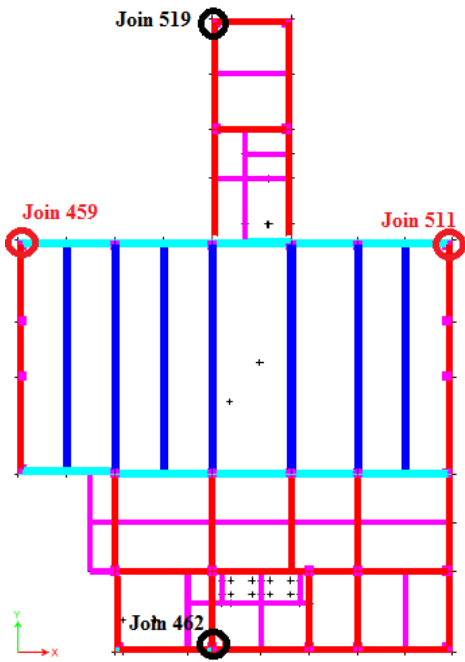
$$\Delta_{izin} = 0,01h_x \text{ (Tabel 16 SNI 1726:2013)}$$

$$C_d = 5,5 \text{ (Tabel 9 SNI 1726:2013)}$$

$$I_e = 1,5 \text{ (Tabel 2 SNI 1726:2013)}$$

4.3.3.6 Kontrol pembesaran momen torsi

Pembesaran momen torsi ini disyaratkan pada SNI 1726:2012 pasal 7.8.4.3.



Kontrol pembesaran torsi arah X

Tabel 4.13 Displacement arah X

TABLE: Joint Displacements			
Unique Name	Load Case	UX	UY
		mm	mm
513	Ex	26,107	15,2
515	Ex	28,719	15,2
517	Ex	30,719	15,199
459	Ex	34,046	15,197
461	Ex	34,046	9,219
460	Ex	24,798	9,218
462	Ex	24,791	3,458

463	Ex	34,046	3,457
464	Ex	34,045	2,56
500	Ex	24,792	3,481
502	Ex	24,792	6,294
503	Ex	34,045	6,293
504	Ex	24,791	12,053
511	Ex	34,045	12,05
512	Ex	24,825	12,054
514	Ex	26,107	12,053
516	Ex	28,718	12,052
518	Ex	30,718	12,051
519	Ex	44,824	3,458
520	Ex	44,824	2,56
521	Ex	39,205	3,458
522	Ex	39,206	2,559
523	Ex	24,829	9,218
524	Ex	26,108	9,219

Cek syarat pembesaran momen torsi :

$$\delta \text{ max} = 44,8 \text{ mm}$$

$$\delta \text{ rata-rata} = \frac{\delta_{462} + \delta_{519}}{2} = \frac{24,7 + 44,8}{2} = 34,8 \text{ mm}$$

$$1,2 \times \delta \text{ rata-rata} = 1,2 \times 34,8 = 41,7 \text{ mm}$$

$$A_x = \left[\frac{\delta \text{ max}}{1,2 \times \delta \text{ rata-rata}} \right]^2 = \left[\frac{44,8}{41,7} \right]^2 = 1,1 > 1$$

Karena $A_x > 1$ maka perlu pembesaran momen torsi

Kontrol pembesaran torsi arah Y

Tabel 4.14 Displacement arah Y

TABLE: Joint Displacements

Unique Name	Case	UX	UY
		mm	mm
513	Ey	1,479	30,085
515	Ey	1,835	30,086
517	Ey	2,167	30,086
459	Ey	2,689	30,086
461	Ey	2,689	29,722
460	Ey	1,623	29,725
462	Ey	1,622	29,361
463	Ey	2,689	29,361
464	Ey	2,69	29,177
500	Ey	1,622	29,159
502	Ey	1,622	29,122
503	Ey	2,69	29,123
504	Ey	1,623	29,055
511	Ey	2,69	29,051
512	Ey	1,447	29,054
514	Ey	1,48	29,052
516	Ey	1,835	29,051
518	Ey	2,167	29,051
519	Ey	4,228	29,358
520	Ey	4,228	29,172
521	Ey	3,447	29,358
522	Ey	3,447	29,172
523	Ey	1,447	29,722
524	Ey	1,48	29,721

Cek syarat pembesaran momen torsi :

$$\delta_{\max} = 30,08 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{rata-rata}} = \frac{\delta_{459} + \delta_{511}}{2} = \frac{30,08 + 29,05}{2} = 29,5 \text{ mm}$$

$1,2 \times \delta \text{ rata-rata} = 1,2 \times 17,36 = 35,4 \text{ mm}$

$A_x = \left[\frac{\delta \text{ max}}{1,2 \times \delta \text{ rata-rata}} \right]^2 = \left[\frac{30,08}{35,4} \right]^2 = 0,71 < 1$

Karena $A_x < 1$ maka tidak perlu pembesaran momen torsi

4.3.3.7 Kontrol P-Delta

Name	Height	P	VX	VY	UX	UY	Dx	Dy	θx	θy
	mm	kN	kN	kN	mm	mm	mm	mm		
Lantai A	4300	8461,731	736,598	792,633	27,909	29,297	10,38033	4,249667	0,00756	0,00288
Lantai 12	3500	21996	1159,9	1211,09	25,078	28,138	2,607	4,312	0,00385	0,0061
Lantai 11	3500	13676,22	1855,64	1976,1	24,367	26,962	4,891333	5,357	0,00281	0,00289
Lantai 10	3500	46690,12	2231,65	2369,43	23,033	25,501	5,899667	6,519333	0,00962	0,01001
Lantai 9	3500	58996,51	2403,02	2564,93	21,424	23,723	6,306667	6,974	0,01207	0,0125
Lantai 8	3500	34926,21	2765,81	2932,85	19,704	21,821	7,014333	7,791667	0,0069	0,00723
Lantai 7	3500	84548,38	2982,17	3163,23	17,791	19,696	7,714667	8,602	0,01704	0,01792
Lantai 6	3500	97324,31	2833,81	3069,42	15,687	17,35	8,374667	9,383	0,02241	0,02318
Lantai 5	3500	83944,02	3406,54	3611,19	13,403	14,791	8,979667	10,07967	0,01724	0,01826
Lantai 4	3500	122835,5	3638,41	3857,89	10,954	12,042	9,027333	10,11633	0,02375	0,0251
Lantai 3	3500	136102,9	3334,48	3416,34	8,492	9,283	9,471	10,373	0,03012	0,0322
Lantai 2	3500	148661,9	4052,01	4490,01	5,909	6,454	8,789	10,12733	0,02513	0,02613
Lantai 2	4000	158704,3	4274	4523,58	3,512	3,692	9,306	9,804667	0,02356	0,02345
Lantai 1	3000	179413,3	4363,25	4610,22	0,974	1,018	3,556667	3,721667	0,0133	0,01317

Cek pengaruh P-Delta

- $\theta \text{ max} < 0,1$
 $0,032 < 0,1$ (*P-Delta diabaikan*)
- $\theta \text{ max} < \frac{0,5}{\frac{1}{C_d}}$
 $0,032 < \frac{0,5}{\frac{1}{5,5}}$
 $0,032 < 2,75$ (*Oke*)

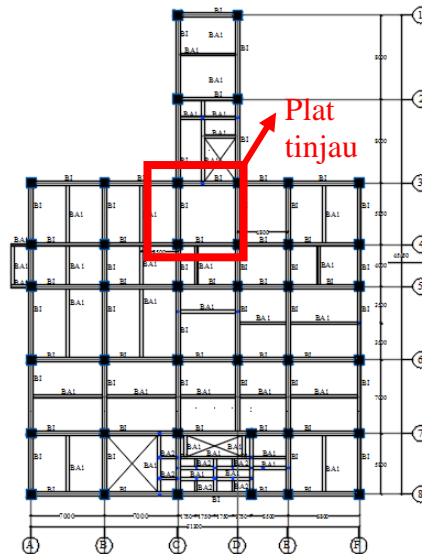
Dari cek di atas disimpulkan bahwa *efek P-Delta diabaikan*.

4.4 Detail Perhitungan Struktur

4.4.1 Detail Perhitungan Struktur Sekunder

4.3.1.1 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 1 s/d 12

Perhitungan penulangan pelat parkir diambil pada ukuran pelat terbesar yang digunakan sebagai acuan penulangan pelat lain. Pelat direncanakan hanya menerima beban mati dan hidup sesuai kombinasi SNI 2847:2013 pasal 9.2.(1).



Gambar 4.8 Plat tinjau lantai 1-12

Data perencanaan

Tipe pelat	= Pelat lantai
As pelat	= C-D ; 3-4
Mutu beton (f_c')	= 30 Mpa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
β	= 0,85
Tebal pelat	= 200 mm
Tebal selimut beton	= 20 mm
Diameter tulangan lentur	= 13 mm
Diameter tulangan susut	= 8 mm

Pembebanan

Beban mati

Pelat ($t=12$ cm)	$= 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Keramik ($t=1$ cm)	$= 1 \times 16,5 \text{ kg/m}^2$	$= 16,5 \text{ kg/m}^2$
Spesi (2 cm)	$= 2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	$= 48 \text{ kg/m}^2$
Plafon		$= 1,49 \text{ kg/m}^2$
Penggantung		$= 8 \text{ kg/m}^2$
Instalasi listrik		$= 40 \text{ kg/m}^2$
Pipa		$= 25 \text{ kg/m}^2$
Total		$= 421 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup

Koridor $= 479 \text{ kg/m}^2$

Kombinasi pembebanan

$Q_u = 1,2D + 1,6L = 1,2(421) + 1,6(479) = 1272 \text{ kg/m}^2$

Perhitungan penulangan

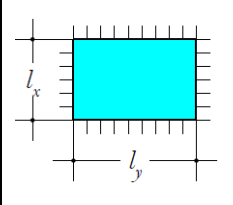
Rasio sumbu panjang dan pendek

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5850}{5700} = 1,026 < 2, \text{ maka plat 2 arah}$$

Rasio kekakuan balok dan plat

$\alpha_m = 22,42 > 2, \text{ maka plat terjepit penuh}$

Perhitungan momen plat menggunakan tabel PBI 1971 sebagai berikut

	Momen	L_y/L_x	
		1	1,1
	$Ml_x = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	25
	$Ml_y = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	21
	$Mt_x = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	59
	$Mt_y = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	54

Nilai koefisien momen untuk $l_y/l_x = 1,026$ maka perlu dilakukan interpolasi linier

Tabel 4.15 Interpolasi koefisien momen plat

Ly/Lx	Koefisien momen		
	1	1,0263	1,1
Lx	21	22,05	25
Ly	21	21,00	21
tx	52	53,84	59
ty	52	52,53	54

Momen masing-masing arah pada plat

$$M_{lx}=0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X = 0,001 \times 1272 \times 5,7^2 \times 22,05 = 910,9 \text{ kgm}$$

$$M_{ly}=0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X = 0,001 \times 1272 \times 5,7^2 \times 21 = 867,5 \text{ kgm}$$

$$M_{tx}=0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X = 0,001 \times 1272 \times 5,7^2 \times 53,8 = 2224,3 \text{ kgm}$$

$$M_{ty}=0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X = 0,001 \times 1272 \times 5,7^2 \times 52,5 = 2170,2 \text{ kgm}$$

Tebal manfaat plat

$$D_x = \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \varnothing$$

$$= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}$$

$$= 93,5 \text{ mm}$$

$$D_y = \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing$$

$$= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}$$

$$= 80,5 \text{ mm}$$

Batasan rasio tulangan

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,0034$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

Penulangan Tumpuan

Penulangan tumpuan disamakan antara arah X dan Y sehingga dipakai momen terbesar dari kedua arah, maka dipakai $M_{tx} = 2224,3 \text{ kgm}$

$$M_u = 2224,3 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{2224,3 \cdot 10^4}{0,9} = 24714889,55 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{24714889,55}{1000 \times 93,5^2} = 2,82 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 2,82}{400}} \right] \\ &= 0,0075 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0034 < 0,0075 < 0,0243 \text{ (Oke)}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0075 \cdot 1000 \cdot 93,5 \\ &= 702,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan Ø13-150

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 200 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \text{} \textbf{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (13)^2 \cdot (1000)}{150} \\ &= 884,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : $A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$

$$884,8 \text{ mm}^2 > 702,1 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Penulangan Lapangan

Penulangan lapangan disamakan antara arah X dan Y sehingga dipakai momen terbesar dari kedua arah, maka dipakai $M_{l_x} = 910,9 \text{ kgm}$

$$M_u = 910,9 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{910,9 \cdot 10^4}{0,9} = 10121904,06 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{10121904,06}{1000 \times 80,5^2} = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 1,15}{400}} \right]$$

$$= 0,003$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

0,0034 > 0,003 < 0,0243 , maka ρ_{perlu} ditingkatkan 30%

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \cdot 0,003 = 0,0039$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0039 \cdot 1000 \cdot 80,5 \\ &= 360,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan Ø13-200

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{} \textbf{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (13)^2 \cdot (1000)}{200} \\ &= 663,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : $A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$

$$663,6 \text{ mm}^2 > 360,2 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Cek Lendutan

Cek lendutan ini dimaksudkan untuk mengetahui perilaku dari pelat itu sendiri. Beban yang diterapkan pada cek lendutan berupa beban layan tanpa faktor beban(D+L).

Beban yang diperhitungkan

$$\text{Dead (Qd)} = 421 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Live (Ql)} = 479 \text{ kg/m}^2$$

Momen yang terjadi

$$M_{tx} = M_{lx} = 0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{DL} = 0,001 \times 421 \times 5,3^2 \times 53,8 = 636,6 \text{ kgm}$$

$$M_{LL} = 0,001 \times 479 \times 5,3^2 \times 53,8 = 724,4 \text{ kgm}$$

Momen inersia penampang utuh I_g

$$I_g = \frac{1}{12} \times b_p \times t_p^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 = 144000000 \text{ mm}^4$$

$$F_r = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f_c} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{30} = 3,39 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{30} = 25734 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25743} = 7,769$$

Jarak antar tulangan D 13-150 ,

$$A_s = \frac{b_p}{s} \times 0,25 \times \pi \times D^2 = \frac{1000}{150} \times 0,25 \times \pi \times 13^2 = 884,9 \text{ mm}^2$$

$$Y_t = t_p / 2 = 120 / 2 = 60 \text{ mm}$$

Letak garis netral

$$b_p / 2 \times y^2 = n \times A_s (d_x - y)$$

$$1000 / 2 \times y^2 = 7,769 \times 884,9 (93,5 - y)$$

$$500 \times y^2 = 642789 - 6874,7y$$

$$y^2 = 1285,5 - 13,74y$$

$y^2 + 13,74y - 2110,5$, akar-akarnya dicari dengan rumus abc

$$y_n = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-13,74 \pm \sqrt{13,74^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-1285,5)}}{2 \cdot 1} = 29,6 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \times b_p \times y^3 + n \times A_s (d_x - y)^2$$

$$= \frac{1}{3} \times 1000 \times 29,6^3 + 7,76 \times 884,9 (93,5 - 29,6)^2$$

$$= 36715781,38 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{F_t \times I_g}{Y_t} = \frac{3,39 \times 144000000}{60} = 8150111,6 \text{ Nmm} = 815,01 \text{ kgm}$$

Perbandingan momen retak dan momen terjadi (M_{cr} / M_a)

Kondisi 1 akibat beban mati saja

$$\frac{M_{cr}}{M_d} = \frac{815,01}{636,7} = 1,28$$

Kondisi 2 akibat beban mati dan hidup

$$\frac{M_{cr}}{M_d} = \frac{815,01}{1361} = 0,59$$

Momen inersia efektif (I_e)

Kondisi 1 akibat beban mati saja

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \\ &= (1,28)^3 \times 144000000 + [1 - (1,28)^3] 36715781,38 \\ &= 261745981,9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Kondisi 2 akibat beban mati dan hidup

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \\ &= (0,59)^3 \times 144000000 + [1 - (0,59)^3] 36715781,38 \\ &= 59748388,26 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan seketika

$$\Delta = \frac{5 \times M \times L_n^2}{48 \times E_c \times I_e} = \frac{5 \times 5300^2}{48 \times 25734} \frac{M}{I_e} = 113,66 \frac{M}{I_e}$$

Lendutan akibat beban mati seketika

$$\Delta_d = 113,66 \frac{M_d}{I_e} = 113,66 \frac{636,6 \times 10^4}{261745981,9} = 2,76 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban mati seketika

$$\Delta_d = 113,66 \frac{M_l}{I_e} = 113,66 \frac{724,4 \times 10^4}{59748388,26} = 13,7 \text{ mm}$$

Lendutan jangka panjang

Akibat beban mati menetap selama 5 tahun, $\xi = 2$

Akibat beban hidup menetap selama 6 bulan, $\xi = 1$

$$\Delta_{total} = 2 \times \Delta_d + 1 \times \Delta_l = 2 \times 2,76 + 1 \times 13,7 = 19,3 \text{ mm}$$

Cek lendutan izin

$$\Delta_{izin} = \frac{L_n}{240} = \frac{5300}{240} = 22,08 \text{ mm}$$

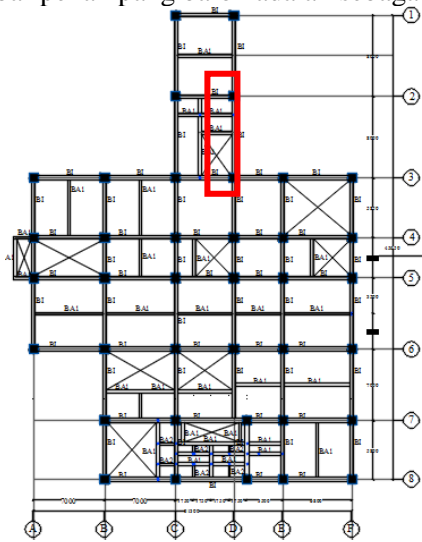
$$\Delta_{izin} > \Delta_{terjadi}$$

22,08 mm > 19,3 mm (**Memenuhi**)

4.4.2 Detail Perhitungan Struktur Primer

4.4.2.1 Perhitungan Tulangan Balok Induk

Perhitungan tulangan balok induk : BI(40/70) As D(2-3) elevasi + 10,50. Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, detail perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9 Denah balok induk tinjau

Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok	= BI
As balok	= D(2-3)
Bentang balok (L balok)	= 7000 mm

Dimensi balok (b balok)	= 400 mm
Dimensi balok (h balok)	= 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 22 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	= 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	= 25 mm
Tebal selimut (t decking)	= 50 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ)	= 0,75

Hasil output dan diagram gaya dari analisa ETABS:

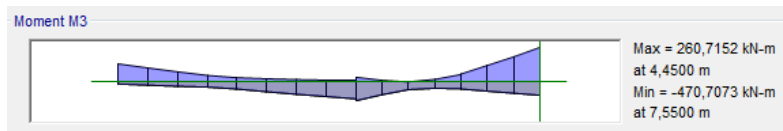
Output gaya torsi



Kombinasi = Envelope
Momen torsi = 45,2189 kNm

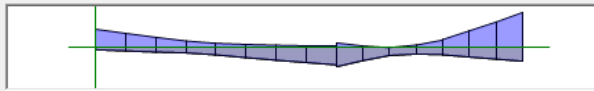
Output momen lentur

Momen lentur kanan maksimum



Kombinasi = Envelope
Momen lentur = 470,7073 kNm
Momen lentur kiri maksimum

Moment M3

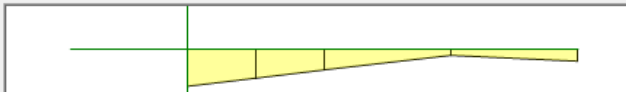


Max = 31,4515 kN-m

Min = -244,7407 kN-m

Kombinasi = Envelope
 Momen lentur = 244,7407 kNm
 Momen lentur lapangan maksimum

Moment M3

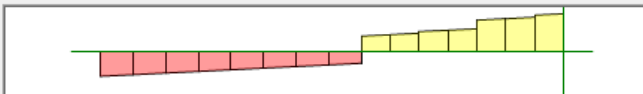
307,3719 kN-m
at 0,4500 m

Kombinasi = Envelope
 Momen lentur = 307,3719 Nmm

Output gaya geser

Geser tumpuan kanan

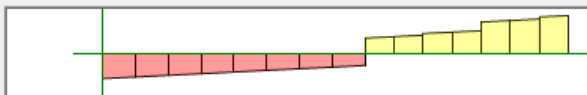
Shear V2



147,7710 kN

Kombinasi = 1,2D+L
 Gaya geser = 147,7710 kN
 Gaya geser tumpuan kiri

Shear V2

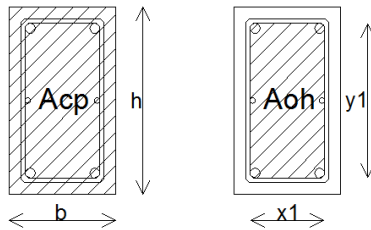


-95,6187 kN

Kombinasi = 1,2D+L
 Gaya geser = 95,6187 kN

4.4.2.1 Perhitungan penulangan puntir

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser lentur dan puntir



Gambar 4.10 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\
 &= 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\
 &= 280000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\
 &= 2 \times (400 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) \\
 &= 2200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \\
 &= (400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 189100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}})] \\
 &= 2 \times [(400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 1804 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

$$\begin{aligned}
 \text{Akibat kombinasi} &= \text{Envelope} \\
 T_u &= 45218900 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{45218900 \text{ Nmm}}{0,75} \\
 T_n &= 60291866,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Geser ultimate

$$V_u = 147771 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$\begin{aligned} T_{u \min} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{280000^2}{2200} \right)}{12} \\ &= 12199275,1 \text{ Nmm} \\ T_{u \max} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{280000^2}{2200} \right)}{3} \\ &= 48797100,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$

$12199275,1 \text{ Nmm} < 45218900 \text{ Nmm} \rightarrow$ **memerlukan tulangan puntir**

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 \cdot A_{oh}} \right)^2} &\leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1\sqrt{f_c'}}{6} \right) + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}} \\ \sqrt{\left(\frac{147771}{400 \cdot 639} \right)^2 + \left(\frac{45218900 \cdot 1804}{1,7 \cdot 189100} \right)^2} &\leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1\sqrt{30}}{6} \right) + \frac{2\sqrt{30}}{3}} \\ 0,578 &\leq 3,184 \dots \textbf{Memenuhi} \end{aligned}$$

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 189100 \text{ mm}^2 \\ &= 160735 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{60291866,6}{2 \times 160735 \times 240 \times \cot 45} \\
 &= 0,781 \\
 Al &= \frac{A_t}{s} \cdot Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\
 Al &= 0,781 \times 1804 \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45 \\
 Al &= 840,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}}$$

$$0,781 \geq \frac{0,175 \times 400}{240}$$

$$0,781 \geq 0,291$$

Maka A_t/s dipakai = 0,781

$$Al_{\min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$Al_{\min} = \frac{5 \times 280000 \sqrt{30}}{12 \times 400} - 0,781 \times 1804 \times \frac{240}{400}$$

$$Al_{\min} = 757,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\min}$ maka gunakan Al_{\min}

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\min}$ maka gunakan Al_{perlu}

$Al_{\text{perlu}} > Al_{\min}$

$840,2 \text{ mm}^2 > 757,2 \text{ mm}^2 \rightarrow$ maka gunakan Al_{perlu}

Maka tulangan torsi perlu sebesar $840,2 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada panampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{840,2 \text{ mm}^2}{4} = 210 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar $= 210 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{840,2 \text{ mm}^2}{4} = 420,1 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 4D13

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 4 \\ &= 530,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$530,9 \text{ mm}^2 \geq 420,1 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 4D13

4.4.2.1.2 Perhitungan penulangan lentur

DAERAH TUMPUAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan kanan yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 639 \\ &= 383 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 383 \text{ mm} \\ &= 288 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 150 \\ &= 1300500 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{1300500}{400} \\ &= 3251,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_r}{2} \right) \\ &= 3251,2 \times 400 \times \left(639 - \frac{0,85 \times 150}{2} \right) \\ &= 748112625 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 470707300 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\Phi} \\ &= \frac{470707300 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$M_n = 588384125 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$$M_{ns} > 0 \rightarrow \text{maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 588384125 \text{ Nmm} - 748112625 \text{ Nmm} \\ &= -159728500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{470707300 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 588384125 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{588384125}{400 \times 639^2} = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 3,6}{400}} \right] \end{aligned}$$

$$=0,005$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00342 < 0,0098 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0098 \times 400 \times 639 + 210$$

$$A_s = 2703 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D22

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{2703 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 7,1 \approx \text{maka dipakai tulangan 8D22}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 8 \\ &= 3041 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$3041 \text{ mm}^2 > 2703 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 210 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D22

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{210 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$n = 0,5 \approx$ maka dipakai tulangan 5D22

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 5 \\ &= 1900,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$1900,6 \text{ mm}^2 > 210 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 6 buah

lapis 2 = 2 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 5 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 22)}{6 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 33 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 33)}{5-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 47,5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$47,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 8D22 \\ &= 8 \times 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \\ &= 3041 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 5D22 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \\ &= 1900,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1900,6 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 3041 \text{ mm}^2$$

$$1900,6 \text{ mm}^2 \geq 1520,5 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 8D22$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 5D22$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 8D22 = 3041 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan } 5D22 = 1900,6 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(A_s \text{ tul. terik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(3041 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 119 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 119 \\ &= 1216424,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1216424,6 \times \left(639 - \frac{119}{2} \right)$$

$$M_n = 546821386,9 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$$

$$715641659,7 \text{ Nmm} \geq 588384125 \text{memenuhi}$$

Sehingga untuk daerah tumpuan kanan dipasang tulangan 8D22

DAERAH LAPANGAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan kiri yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 639 \\ &= 383 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 383 \text{ mm}$$

$$= 288 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d'$$

$$= 61 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 150$$

$$= 1300500 \text{ N}$$

Luasan tulangan tarik

$$A_{sc} = \frac{C_c}{f_y}$$

$$= \frac{1300500}{400}$$

$$= 3251,2 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 3251,2 \times 400 \times \left(639 - \frac{0,85 \times 150}{2} \right)$$

$$= 748112625 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{\text{ulapangan}} = 307371900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\Phi}$$

$$M_n = \frac{307371900 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 384214875 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 384214875 \text{ Nmm} - 748112625 \text{ Nmm} \\ &= -363897750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{307371900 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 384214875 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{384214875}{400 \times 640,5^2} = 2,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,68.2,4}{400}} \right]$$

$$= 0,0062$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00342 < 0,0062 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0062 \times 400 \times 639 + 210$$

$$A_s = 1790 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D22

$$n = \frac{A_s}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1790 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$$n = 4,7 \approx \text{maka dipakai tulangan 5D22}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 5 \\ &= 1900,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$1900,6 \text{ mm}^2 > 1790 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 210 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D22

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{210 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$n = 0,5 \approx$ maka dipakai tulangan 3D22

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 3 \\ &= 1140 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$1140 \text{ mm}^2 > 210 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 1 lapis

lapis 1 = 5 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 3 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 47,5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$47,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{\frac{n-1}{3-1}}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 117 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$117 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur lapangan (+)} \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 5D22 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \\ &= 1900,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 3D22 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \\ &= 1140 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur lapangan (+)} \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max (-)}$$

$$1140 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} \times 3041 \text{ mm}^2$$

$$1140 \text{ mm}^2 \geq 760,2 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat bawah} = 5D22$$

$$\text{Tulangan tekan serat atas} = 3D22$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 5D22 = 1900,6 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ tulangan tekan } 3D22 = 1140 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(As \text{ tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1900,6 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 75 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 75 \\ &= 760265,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang

$$Mn = Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 760265,4 \times \left(639 - \frac{75}{2} \right)$$

$$Mn = 461726125,1 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$Mn \text{ pasang} \geq Mn \text{ perlu}$$

$$461726125,1 \text{ Nmm} \geq 384214875 \text{memenuhi}$$

Sehingga untuk daerah lapangan dipasang tulangan 5D22

4.3.2.1.3 Perhitungan penulangan geser

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

Sayap efektif balok

$$\text{Tulangan sayap} = 13 - 150$$

$$be_1 = 0,25 \times L_n = 0,25 \times 8000 = 2000 \text{ mm}$$

$$be_2 = b + 8(tp) = 400 + 8(120) = 1360 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } be = 1360 \text{ mm}$$

$$As = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (be - b) / s$$

$$= 0,25 \times \pi \times 13^2 \times (1360 - 400) / 150$$

$$\begin{aligned}
 d &= 849,4 \text{ mm}^2 \\
 &= h - \text{selimut plat} - d/2 \\
 &= 700 - 20 - 13/2 \\
 &= 673,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Mpr balok

$$\text{As pasang} = 3041 \text{ mm}^2$$

$$\text{A' pasang} = 1900,6 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(\text{As pasang} + \text{As sayap}) \times f_y \times 1,25}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{(3041 + 849,4) \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 190,7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mpr}_{\text{kiri}} &= \text{As}_1 \times f_y \times 1,25 \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + \text{As}_2 \times f_y \times 1,25 \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &\quad + \text{As sayap} \times f_y \times 1,25 \times \left(d - \frac{a}{2}\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mpr}_{\text{kiri}} &= 2281 \times 400 \times 1,25 \left(639 - \frac{190,7}{2}\right) \\
 &\quad + 760,3 \times 400 \times 1,25 \left(592 - \frac{190,7}{2}\right) \\
 &\quad + 849,4 \times 400 \times 1,25 \left(673,5 - \frac{190,7}{2}\right)
 \end{aligned}$$

$$\text{Mpr}_{\text{kiri}} = 1054322916 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pasang} = 3041 \text{ mm}^2$$

$$\text{A' pasang} = 1900,6 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As pasang} \times f_y \times 1,25}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{1900,6 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 93 \text{ mm}$$

$$M_{pr_{kanan}} = A_s' \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{pr_{kanan}} = 1900,6 \times 400 \times 1,25 \left(439 - \frac{93}{2}\right)$$

$$M_{pr_{kanan}} = 562990904 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output SAP akibat kombinasi 1,2D+L
 $V_u = 147771 \text{ N}$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u$$

[SNI 2847:2013 pasal 11.3.2.3]

Maka

$$V_{u1} = \frac{1054322916 \text{ Nmm} + 562990904 \text{ Nmm}}{\left(8000 \text{ mm} - \frac{900 \text{ mm}}{2} - \frac{900 \text{ mm}}{2}\right)} + 147771 \text{ N}$$

$$V_{u1} = 375561,6 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh lebih dari 25/3 Mpa

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \dots \text{memenuhi}$$

Kuat geser beton

$$V_c = 0$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 400 \times 639$$

$$V_{s_{\min}} = 85200 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 639$$

$$V_{s_{\max}} = 466659,6 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 639$$

$$V_{s_{\max}} = 933319,2 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah penulangan geser balok dibagi menjadi 2 bagian:

1. Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom
2. Wilayah lapangan dimulai dari wilayah akhir tumpuan sampai ke tengah bentang balok

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 375561,6 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$375561,6 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \quad \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$0 \text{ N} \leq 375561,6 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}}) \quad \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$0 \text{ N} \leq 375561,6 \text{ N} \geq 63900 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 4

$\emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $63900 \text{ N} \leq 375561,6 \text{ N} \geq 349994,7 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $349994,7 \text{ N} \leq 375561,6 \text{ N} \leq 699989,4 \text{ N}$ (Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 5.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\Phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{375561,6 \text{ N} - 0 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 500749 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 3 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 3$$

$$= 235,6 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{235,6 \times 240 \times 639}{500749}$$

$$S_{\text{perlu}} = 120 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$100 < \frac{640,5}{2}$$

100 mm < 320,3 mm**memenuhi**

dan

$$S_{\max} < 600$$

100 mm < 600 mm...**memenuhi**

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-100 mm dengan 3 kaki

Cek persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok

Pada ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $\frac{d}{4} = \frac{639 \text{ mm}}{4} = 160 \text{ mm}$
- 6 x D lentur
 $= 6 \times 22$
 $= 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka S pakai tidak boleh lebih dari 132 mm

Spakai < 132 mm

100 mm < 132 mm**memenuhi**

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-100 mm dengan sengkang 3 kaki

2. Pada wilayah (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2} \ln - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \left(\frac{1}{2} \ln 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u2} = \frac{500749 \left(\frac{1}{2} \times 8000 - 2 \times 700 \right)}{\frac{1}{2} \times 8000}$$

$$V_{u2} = 227452,8 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$227452,8 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$0 \text{ N} \leq 227452,8 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \quad \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$0 \text{ N} \leq 227452,8 \text{ N} \geq 63900 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \quad \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$63900 \text{ N} \leq 227452,8 \text{ N} \leq 349994,7 \text{ N (Memenuhi)}$$

Kondisi 5

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_s \text{ max}) \quad \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$349994,7 \text{ N} \geq 227452,8 \text{ N} \leq 699989,4 \text{ N (Tidak Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\Phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{227452,8 \text{ N} - 0 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 303270 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10 mm dengan 3 kaki,
maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 3 \\ &= 235 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ S_{\text{perlu}} &= \frac{235,6 \times 240 \times 639}{303270} \\ S_{\text{perlu}} &= 201 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\ 200 &< \frac{639}{2} \\ 200 \text{ mm} &< 319 \text{ mm} \text{} \textbf{memenuhi} \\ \text{dan} \\ S_{\text{max}} &< 600 \\ 200 \text{ mm} &< 600 \text{ mm} \text{ ...} \textbf{memenuhi} \end{aligned}$$

*Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan)
dipasang Ø10-200 mm dengan sengkang 3 kaki*

4.3.2.1.4 Perhitungan panjang penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan *SNI 2847:2013 pasal 12*.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 2703 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 3041 mm ²	Ψ_e	= 1
Db	= 22 mm	Ψ_t	= 1
Fc	= 30 Mpa	λ	= 1

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) 22$$

$$l_d = 945,1 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{2703}{3041} \times 945,1$$

$$l_d = 839 \text{ mm} \approx 850 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$850 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 850 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 2703 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 3041 mm ²	Ψ_e	= 1
Db	= 22 mm	λ	= 1
Fc	= 30 Mpa		

Perhitungan

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right) 22$$

$$l_{dh} = 386 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{2703}{3041} \times 386$$

$$l_d = 343 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$350 \text{ mm} \geq 8 \times 22$$

$$350 \text{ mm} \geq 176 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 350 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 300 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 350 dan panjang kait 300 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan
Panjang penyaluran perlu
Properti

As perlu	= 1521 mm ²	fy	= 400 Mpa
As pasang	= 1900,6 mm ²	Fc	= 30 Mpa
Db	= 22 mm	λ	= 1

Perhitungan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{fc'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \right) 22$$

$$l_{dc} = 385 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043fy) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 22$$

$$l_{dc} = 378 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 385 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{1521}{1900,6} \times 385$$

$$l_{dc} = 308,4 \text{ mm} \approx 310 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

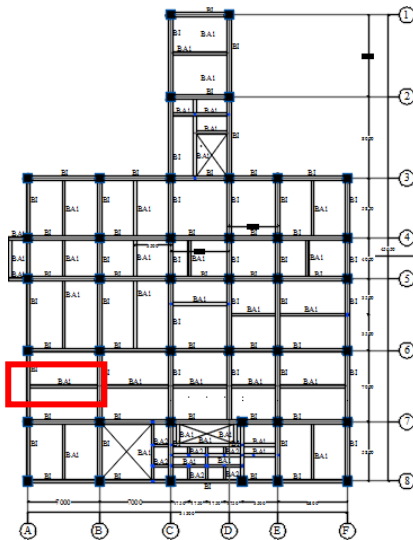
$$310 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \dots \textbf{memenuhi}$$

Maka dipakai panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 310 mm

4.3.2.2 Perhitungan Tulangan Balok Anak

Perhitungan tulangan balok anak : BA(30/40) As 7'(A-B) elevasi $\pm 4,00$. Berikut data-data perencanaan balok anak, gambar denah balok, hasil output ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok anak dengan metode SRPMK, detail perhitungan

serta hasil akhir gambar penampang balok anak adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11 Denah balok anak tinjau

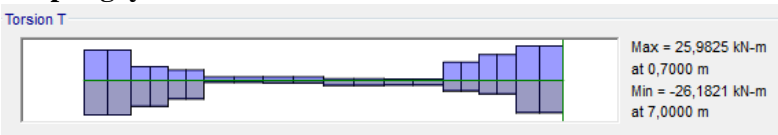
Data-data perencanaan tulangan balok anak :

Tipe balok	= BA
As balok	= 7'(A-B)
Bentang balok (L balok)	= 7000 mm
Dimensi balok (b balok)	= 300 mm
Dimensi balok (h balok)	= 300 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	= 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	= 25 mm

Tebal selimut (t decking)	= 50 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ)	= 0,75

Hasil output dan diagram gaya dari analisa ETABS:

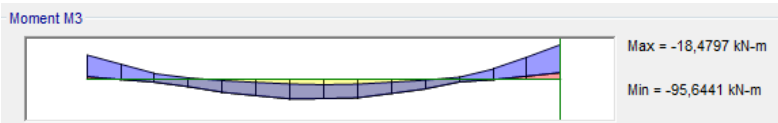
Output gaya torsi



Kombinasi	= Envelope
Momen torsi	= 26,1821 kNm

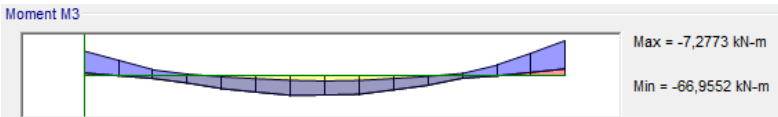
Output momen lentur

Momen lentur kanan maksimum



Kombinasi	= Envelope
Momen lentur	= 95,6441 kNm

Momen lentur kiri maksimum



Kombinasi	= Envelope
Momen lentur	= 66,9552 kNm

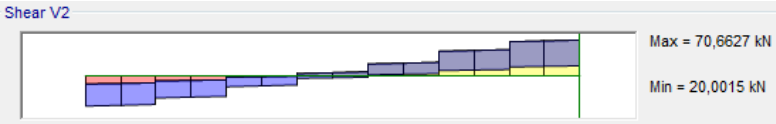
Momen lentur lapangan maksimum



Kombinasi	= Envelope
Momen lentur	= 84,0078 kNm

Output gaya geser

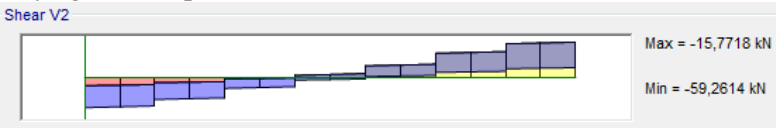
Geser tumpuan kanan



Kombinasi = Envelope

Gaya geser = 70,6627 kN

Gaya geser tumpuan kiri

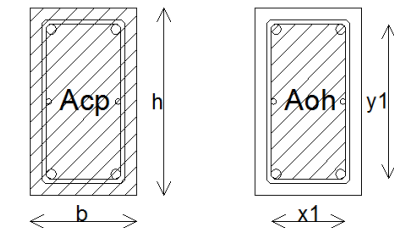


Kombinasi = Envelope

Gaya geser = 59,2614 kN

4.3.2.2.1 Perhitungan penulangan puntir

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser lentur dan puntir



Gambar 4.12 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 120000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \end{aligned}$$

$$= 1400 \text{ mm}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (300\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm}) \times (400\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm}) \\ &= 65100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\ &= 2 \times [(300\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm}) + (400\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm})] \\ &= 1016 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi = Envelope

$$Tu = 26182100 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{Tu}{\Phi} \\ &= \frac{26182100 \text{ Nmm}}{0,75} \end{aligned}$$

$$T_n = 34909466,6 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

$$Vu = 70662,7 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$\begin{aligned} Tu_{\min} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{120000^2}{1400} \right)}{12} \\ &= 3521073,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{120000^2}{1400} \right)}{3} \\ &= 14084294,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$Tu_{\min} > Tu \rightarrow \text{tidak memerlukan tulangan puntir}$$

$T_{u_{min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u$

$3521073,5 \text{ Nmm} < 26182100 \text{ Nmm} \rightarrow$ **memerlukan tulangan puntir**

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 \cdot A_{oh}}\right)^2} \leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1\sqrt{f_c'}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{70662,7}{300 \cdot 342}\right)^2 + \left(\frac{26182100 \cdot 1016}{1,7 \cdot 65100}\right)^2} \leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1\sqrt{30}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{30}}{3}}$$

$0,578 \leq 3,184 \dots$ **Memenuhi**

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 65100 \text{ mm}^2 \\ &= 55335 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{34909466,6}{2 \times 55335 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 1,31 \end{aligned}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot \Phi \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cdot \cot^2 \theta$$

$$A_l = 1,31 \times 1016 \left(\frac{240}{400}\right) \cot^2 45$$

$$A_l = 801,2 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}}$$

$$1,31 \geq \frac{0,175 \times 300}{240}$$

$$1,31 \geq 0,2188$$

Maka A_t/s dipakai = 1,31

$$A_{l \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} \cdot \frac{P_h}{f_y}$$

$$A_{l \min} = \frac{5 \times 120000 \sqrt{30}}{12 \times 400} - 1,31 \times 1016 \times \frac{240}{400}$$

$$A_{l \min} = 116,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l \text{perlu}} \leq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \min}$

$A_{l \text{perlu}} \geq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \text{perlu}}$

$A_{l \text{perlu}} > A_{l \min}$

$801,2 \text{ mm}^2 > 116,5 \text{ mm}^2 \rightarrow$ maka gunakan $A_{l \text{perlu}}$

Maka tulangan torsi perlu sebesar $801,2 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada panampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{801,2 \text{ mm}^2}{4} = 200,3 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar $= 200,3 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{403,8 \text{ mm}^2}{4} = 400,6 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 4D13

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 4 \\ &= 530,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$530,9 \text{ mm}^2 \geq 400,6 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 4D13

4.3.2.2 Perhitungan penulangan lentur

DAERAH TUMPUAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205 \text{ mm} \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\
 &= \frac{650250}{400} \\
 &= 1626 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1626 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 194749875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_{u_{tumpuan}} = 95644100 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\Phi} \\
 &= \frac{95644100 \text{ Nmm}}{0,8} \\
 M_n &= 119555125 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 119555125 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 119555125 \text{ Nmm} - 194749875 \text{ Nmm} \\
 &= -75194750 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan tulangan lentur tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{95644100 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 119555125 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{119555125}{300 \times 342^2} = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 3,4}{400}} \right]$$

$$= 0,0092$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00342 < 0,0092 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0092 \times 300 \times 342 + 200,3$$

$$A_s = 1142 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas
direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1142 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 5,7 \approx \text{maka dipakai tulangan 6D16}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 6 \\ &= 1206,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$1206,3 \text{ mm}^2 > 1142 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan
tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 200,3 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah
direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{200,3 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 0,9 \approx \text{maka dipakai tulangan 4D16}$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 4 \end{aligned}$$

$$= 603,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$804,2 \text{ mm}^2 > 200,3 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 5 buah

lapis 2 = 1 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 4 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 30 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{3-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 45 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$45 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 6D16 \\ &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 1206,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 4D16 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 804,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$804,2 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 1206,3 \text{ mm}^2$$

$$804,2 \text{ mm}^2 \geq 603,1 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 6D16$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 4D16$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik 5D16} = 1206,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan 3D16} = 804,2 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1206,3 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 63 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times 63$$

$$= 482548,6 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 482548,6 \times \left(342 - \frac{63}{2} \right)$$

$$M_n = 152095344,1 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$

$$152095344,1 \text{ Nmm} \geq 119555125 \text{memenuhi}$$

DAERAH LAPANGAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan kiri yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205 \text{ mm} \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{650250}{400} \\ &= 1626 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 1626 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 194749875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u\text{lapangan}} = 84007800 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\Phi} \\ &= \frac{84007800 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$M_n = 105009750 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 105009750 \text{ Nmm} - 194749875 \text{ Nmm} \\ &= -89740125 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan tulangan lentur tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{84007800 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 105009750 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{105009750}{300 \times 342^2} = 3 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 3}{400}} \right]$$

$$= 0,008$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00342 < 0,008 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = p_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,008 \times 300 \times 342 + 200,3$$

$$A_s = 1019 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1019 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 5,07 \approx \text{maka dipakai tulangan 6D16}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 6 \\ &= 1206,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$1206,3 \text{ mm}^2 > 200,3 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 200,3 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{200,3 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$n = 0,9 \approx$ maka dipakai tulangan 3D16

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 3 \\ &= 603,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$603,1 \text{ mm}^2 > 200,3 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 5 buah

lapis 2 = 1 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 3 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 30 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

30 mm \geq 25 mm.....*memenuhi*

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3-1}$$

$$S_{maks} = 76 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

76 mm \geq 25 mm.....*memenuhi*

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur lapangan } (-) \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= 3D16 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 603,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur lapangan } (-) \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max } (-)$$

$$603,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} \times 1206,3 \text{ mm}^2$$

$$603,1 \text{ mm}^2 \geq 301,5 \text{ mm}^2 \text{.....} \textbf{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 6D16$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 3D16$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik 6D16} = 1206,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan 3D16} = 603,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1206,3 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 63 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times 63$$

$$= 482548,6 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 482548,6 \times \left(342 - \frac{63}{2} \right)$$

$$M_n = 152095344,1 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$$

$$152095344,1 \text{ Nmm} \geq 105009750 \text{memenuhi}$$

4.3.2.2.3 Perhitungan penulangan geser

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah penulangan geser balok dibagi menjadi 2 bagian:

1. Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom
2. Wilayah lapangan dimulai dari wilayah akhir tumpuan sampai ke tengah bentang balok

Syarat kuat tekan beton(f_c')

Nilai $\sqrt{f'c'}$ yang digunakan tidak boleh lebih dari 25/3 Mpa

$$\sqrt{f'c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \dots \text{memenuhi}$$

Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 342$$

$$V_c = 93660,5 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 300 \times 342$$

$$V_{s_{\min}} = 34200 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 342$$

$$V_{s_{\max}} = 187321,1 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 342$$

$$V_{s_{\max}} = 374642,2 \text{ N}$$

DAERAH TUMPUAN

Berdasarkan hasil output SAP akibat kombinasi Envelope
 $V_u.tumpuan = 70662,7 \text{ N}$

Cek kondisi

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser
 $70662,7 \text{ N} \geq 35122,7 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan geser minimum
 $35122,7 \text{ N} \leq 70662,7 \text{ N} \geq 70245,4 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \rightarrow$ Tulangan geser minimum
 $70245,4 \text{ N} \leq 70662,7 \text{ N} \geq 95895,4 \text{ N}$ (Memenuhi)

Kondisi 4

$\emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $95895,4 \text{ N} \geq 70662,7 \text{ N} \leq 210736,2 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $210736,2 \text{ N} \geq 70662,7 \text{ N} \leq 351227,09 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 3.

$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ minimum}$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{b \times d}{3}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{300 \times 342}{3}$$

$$V_s \text{ perlu} = 34200 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki,
 maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\
 &= 157,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\
 S_{\text{perlu}} &= \frac{157,8 \times 240 \times 342}{34200} \\
 S_{\text{perlu}} &= 377 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 120 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\
 125 &< \frac{342}{2} \\
 125 \text{ mm} &< 171 \text{ mm} \dots \textbf{memenuhi} \\
 \text{dan} \\
 S_{\text{max}} &< 600 \\
 125 \text{ mm} &< 600 \text{ mm} \dots \textbf{memenuhi}
 \end{aligned}$$

Sehingga pada tumpuan kiri dipakai tulangan geser $\emptyset 10$ -125 mm

DAERAH LAPANGAN

Gaya geser pada wilayah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \ln} \\
 V_{u2} &= \frac{V_{u1} \left(\frac{1}{2} \ln - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln}
 \end{aligned}$$

$$Vu_2 = \frac{70662,7 \left(\frac{1}{2} \times (7000 - 400) - 2 \times 400 \right)}{\frac{1}{2} \times (7000 - 400)}$$

$$Vu_2 = 53532,3 \text{ N}$$

Maka,

$$Vu_{\text{lapangan}} = 53532,3 \text{ N}$$

Cek kondisi

Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$74749 \text{ N} \geq 35122,7 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$35122,7 \text{ N} \leq 53532,3 \text{ N} \leq 70245,4 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Kondisi 3

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\min}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$70245,4 \text{ N} \geq 53532,3 \text{ N} \leq 95895,4 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset (Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\max}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$95895,4 \text{ N} \geq 53532,3 \text{ N} \leq 210736,2 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 5

$$\emptyset (Vc + Vs_{\max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2Vs_{\max}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$210736,2 \text{ N} \geq 53532,3 \text{ N} \leq 351227,09 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 3.

$$Vs_{\text{perlu}} = Vs_{\text{minimum}}$$

$$Vs_{\text{perlu}} = \frac{b \times d}{3}$$

$$Vs_{\text{perlu}} = \frac{300 \times 342}{3}$$

$$V_s \text{ perlu} = 34200 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10 mm dengan 2 kaki,
maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\ &= 157,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ S_{\text{perlu}} &= \frac{157,8 \times 240 \times 279}{34200} \\ S_{\text{perlu}} &= 377 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\ 150 &< \frac{342}{2} \\ 150 \text{ mm} &< 171 \text{ mm} \dots \text{memenuhi} \\ \text{dan} \\ S_{\text{max}} &< 600 \\ 150 \text{ mm} &< 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

Sehingga pada lapangan dipakai tulangan geser Ø10-150 mm

4.3.2.2.4 Perhitungan panjang penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan *SNI 2847:2013 pasal 12*.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 1142 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 1206 mm ²	Ψ_e	= 1
Db	= 16 mm	Ψ_t	= 1
Fc	= 30 Mpa	λ	= 1

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_d = 687 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{1142}{1206} \times 687$$

$$l_d = 650,7 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$700 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 700 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 1142 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 1206 mm ²	Ψ_e	= 1
Db	= 16 mm	λ	= 1
Fc	= 30 Mpa		

Perhitungan

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_{dh} = 280,4 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{1142}{1206} \times 280,4$$

$$l_d = 265 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$300 \text{ mm} \geq 8 \times 16$$

$$300 \text{ mm} \geq 128 \text{ mm} \text{} \textbf{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \text{} \textbf{memenuhi}$$

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 300 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 200 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 300 mm dan kait 200 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan
Panjang penyaluran perlu
Properti

As perlu	= 603,2 mm ²	f _y	= 400 Mpa
As pasang	= 804,2 mm ²	F _c	= 30 Mpa
Db	= 16 mm	λ	= 1

Perhitungan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_{dc} = 280,4 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 16$$

$$l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 280,4 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{603,2}{804,2} \times 280,4$$

$$l_{dc} = 210 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka dipakai panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 250 mm

4.3.2.3 Perhitungan penulangan balok bordes

Perhitungan tulangan balok bordes : B-BD(25/40) As C'(1''-2) elevasi ± 1,80. Berikut data-data perencanaan balok bordes, gambar denah balok, hasil output ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, detail

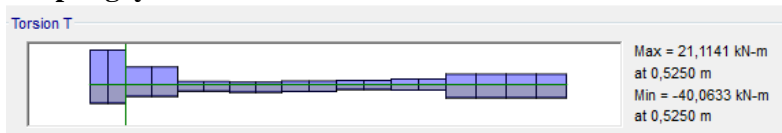
perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok bordes adalah sebagai berikut:

Data-data perencanaan tulangan balok bordes :

Tipe balok	= B-BD
As balok	= 8(B-C)
Bentang balok (L balok)	= 7000 mm
Dimensi balok (b balok)	= 250 mm
Dimensi balok (h balok)	= 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	= 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	= 25 mm
Tebal selimut (t decking)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ)	= 0,75

Hasil output dan diagram gaya dari analisa ETABS:

Output gaya torsi

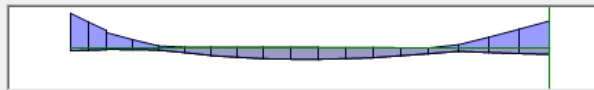


Kombinasi	= Envelope
Momen torsi	= 40,0633 kNm

Output momen lentur

Momen lentur kanan maksimum

Moment M3

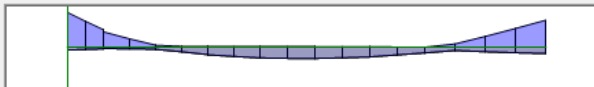


Max = 18,6187 kN-m

Min = -81,6927 kN-m

Kombinasi = Envelope
 Momen lentur = 81,6927 kNm
 Momen lentur kiri maksimum

Moment M3

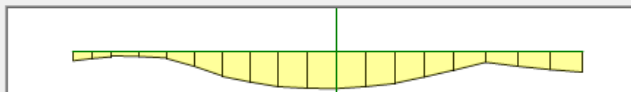


Max = 8,2712 kN-m

Min = -104,7051 kN-m

Kombinasi = Envelope
 Momen lentur = 104,7051 kNm
 Momen lentur lapangan maksimum

Moment M3

33,6886 kN-m
at 3,6250 m

Kombinasi = Envelope
 Momen lentur = 33,6886 kNm

Output gaya geser

Geser tumpuan kanan

Shear V2



34,7138 kN

Kombinasi = 1,2D+L
 Gaya geser = 34,7138 kN
 Gaya geser tumpuan kiri

Shear V2



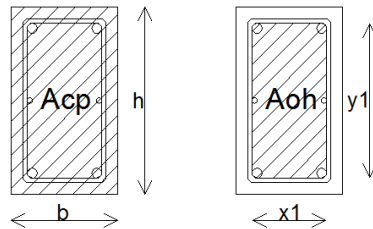
-62,4492 kN

Kombinasi = 1,2D+L
 Gaya geser = 62,4492 kN

4.3.2.3.1 Perhitungan penulangan puntir

Cek kebutuhan tulangan torsi

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser lentur dan puntir



Gambar 4.13 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 250 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 100000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (250 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{deckng}} - \phi_{\text{geser}}) \\ &= (250 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\ &= 49600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{deckng}} - \phi_{\text{geser}})] \\ &= 2 \times [(250 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\ &= 916 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi = Envelope

$T_u = 40063300 \text{ Nmm}$

Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\Phi}$$

$$T_n = \frac{40063300 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$T_n = 53417733,3 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

$$V_u = 62449,2 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$T_{u \text{ min}} = \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12}$$

$$= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{100000^2}{1300} \right)}{12}$$

$$= 2633281,5 \text{ Nmm}$$

$$T_{u \text{ max}} = \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3}$$

$$= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{100000^2}{1300} \right)}{3}$$

$$= 10533126,1 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$T_{u \text{ min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u$

$2633281,5 \text{ Nmm} < 40063300 \text{ Nmm} \rightarrow$ **memerlukan tulangan puntir**

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 \cdot A_{oh}} \right)^2} \leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1 \sqrt{f_c'}}{6} \right) + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{62449,2}{250 \cdot 342} \right)^2 + \left(\frac{40063300 \cdot 916}{1,7 \cdot 49600} \right)^2} \leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1 \sqrt{30}}{6} \right) + \frac{2 \sqrt{30}}{3}}$$

$$0,73 \leq 3,184 \dots \textbf{Memenuhi}$$

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 49600 \text{ mm}^2 \\
 &= 42160 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta} \\
 &= \frac{53417733,3}{2 \times 42160 \times 240 \times \cot 45} \\
 &= 2,63
 \end{aligned}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$A_l = 2,63 \times 916 \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45$$

$$A_l = 1450,7 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &\geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}} \\
 2,63 &\geq \frac{0,175 \times 250}{240}
 \end{aligned}$$

$$2,63 \geq 0,182$$

Maka A_t/s dipakai = 2,63

$$A_{l \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$A_{l \min} = \frac{5 \times 100000 \sqrt{30}}{12 \times 400} - 2,63 \times 916 \times \frac{240}{400}$$

$$A_{l \min} = 880 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l \text{ perlu}} \leq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \min}$

$A_{l \text{ perlu}} \geq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \text{ perlu}}$

$A_{l \text{ perlu}} > A_{l \min}$

$1450,7 \text{ mm}^2 > 880 \text{ mm}^2 \rightarrow$ maka gunakan $A_{l\text{perlu}}$
Maka tulangan torsi perlu sebesar $876,1 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada panampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1450,7 \text{ mm}^2}{4} = 362,6 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar $= 362,6 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{1450,7 \text{ mm}^2}{4} = 725,3 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 4D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times 4 \\ &= 804,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$804,2 \text{ mm}^2 \geq 725,3 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 4D16

4.3.2.3.2 Perhitungan penulangan lentur

DAERAH TUMPUAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205 \text{ mm} \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 250 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 541875 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{541875}{400} \\ &= 1355 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 1355 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 162291563 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 104705100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\Phi}$$

$$M_n = \frac{104705100 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 130881375 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 130881375 \text{ Nmm} - 162291563 \text{ Nmm}$$

$$= -31410188 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan tulangan lentur tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{104705100 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 130881375 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{130881375}{250 \times 342^2} = 4,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 4,5}{400}} \right]$$

$$= 0,012$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00342 < 0,012 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,012 \times 250 \times 342 + 362,6$$

$$A_s = 1422 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1422 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 7,07 \approx \text{maka dipakai tulangan 8D16}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.\text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 8 \\ &= 1608,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1608,4 \text{ mm}^2 > 1422 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$\text{As}' = \frac{A_l}{4}$$

$$\text{As}' = 362,6 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{\text{As}'}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{362,6 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 1,8 \approx \text{maka dipakai tulangan 5D16}$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.\text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 5 \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1005,3 \text{ mm}^2 > 362,6 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 4 buah

lapis 2 = 4 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 2 lapis

lapis 1 = 4 buah

lapis 2 = 1 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1}$$

$$S_{maks} = 30 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$28,6 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1}$$

$$S_{maks} = 28,6 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$28,6 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 8D16 \\ &= 8 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 1608,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 5D16 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1005,3 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 1608,4 \text{ mm}^2$$

$$1005,3 \text{ mm}^2 \geq 804,2 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 8D16$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 5D16$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 8D16 = 1608,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan } 5D16 = 1005,3 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(As \text{ tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1608,4 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 250} \right)$$

$$a = 101 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 250 \times 101$$

$$= 643398,1 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 643398,1 \times \left(342 - \frac{101}{2} \right)$$

$$M_n = 149508086,5 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$

$$192444761,9 \text{ Nmm} \geq 130881375 \text{memenuhi}$$

DAERAH LAPANGAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan kiri yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205 \text{ mm} \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 250 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 541875 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{541875}{400} \\ &= 1355 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 1355 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 162291563 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{tumpuan}} = 33688600 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\Phi}$$

$$M_n = \frac{33688600 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 42110750 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 42110750 \text{ Nmm} - 162291563 \text{ Nmm}$$

$$= -120180812,5 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan tulangan lentur tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{33688600 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 42110750 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{42110750}{250 \times 342^2} = 1,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 1,4}{400}} \right]$$

$$=0,0048$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00342 < 0,0048 < 0,0243, \dots \text{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0048 \times 250 \times 342 + 362,6$$

$$A_s = 774,8 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{774,8 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 3,8 \approx \text{maka dipakai tulangan 4D16}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 4 \\ &= 804,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$804,2 \text{ mm}^2 > 774,8 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 362,6 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{362,6 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$n = 1,8 \approx$ maka dipakai tulangan 3D16

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 3 \\ &= 603,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$603,1 \text{ mm}^2 > 362,6 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 1 lapis

lapis 1 = 4 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 3 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4 - 1}$$

$$S_{maks}=28 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$28 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}.....\text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3-1}$$

$$S_{maks}=51 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$51 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}.....\text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 4D16 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 804,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 3D16 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 603,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max (-)}$$

$$603,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} \times 1608,4 \text{ mm}^2$$

$$603,1 \text{ mm}^2 \geq 402,1 \text{ mm}^2.....\text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

Tulangan tarik serat bawah = 4D16

Tulangan tekan serat atas = 3D16

Cek momen nominal penampang

As tulangan tarik 4D16 = 804,2 mm²

As' tulangan tekan 3D16 = 603,1 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(804,2 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 250} \right)$$

$$a = 50 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 250 \times 50$$

$$= 321699 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 321699 \times \left(342 - \frac{50}{2} \right)$$

$$M_n = 103121734,5 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$

$$103121734,5 \text{ Nmm} \geq 42110750 \text{memenuhi}$$

4.3.2.3.3 Perhitungan penulangan geser

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 1608,4 \text{ mm}^2 \\ \text{A' pasang} &= 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ a &= \frac{1608,4 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 250} \end{aligned}$$

$$a = 101 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn}_{\text{kiri}} &= \text{As pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ \text{Mn}_{\text{kiri}} &= 1608,4 \times 400 \times 1,25 \left(342 - \frac{101}{2}\right) \\ \text{Mn}_{\text{kiri}} &= 234468287,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 1608,4 \text{ mm}^2 \\ \text{A' pasang} &= 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ a &= \frac{1005,3 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 250} \end{aligned}$$

$$a = 63 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn}_{\text{kanan}} &= \text{As' pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ \text{Mn}_{\text{kanan}} &= 1005,3 \times 400 \times 1,25 \left(342 - \frac{63}{2}\right) \\ \text{Mn}_{\text{kanan}} &= 156054656 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output SAP akibat kombinasi 1,2D+L

$$V_u = 62449,2 \text{ N}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

[SNI 2847:2013 pasal 11.3.2.3]

Maka

$$V_{u1} = \frac{234468287,4 \text{ Nmm} + 156054656 \text{ Nmm}}{(7000\text{mm} - \frac{700 \text{ mm}}{2} - \frac{700 \text{ mm}}{2})} + 62449,2 \text{ N}$$

$$V_{u1} = 124436,9 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton(f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh lebih dari 25/3 Mpa

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \dots \text{memenuhi}$$

Kuat geser beton

$$V_c = 0$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 250 \times 342$$

$$V_{s_{\min}} = 28500 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 250 \times 342$$

$$V_{s_{\max}} = 156100,9 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 250 \times 342$$

$$V_{s_{\max}} = 312201,8 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah penulangan geser balok dibagi menjadi 2 bagian:

- 1) Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom
- 2) Wilayah lapangan dimulai dari wilayah akhir tumpuan sampai ke tengah bentang balok

Penulangan geser balok

- 1) Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 124436,9 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$124436,9 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \quad \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$0 \text{ N} \leq 124436,9 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s \text{ min}})$ → Tulangan geser minimum

$0 \text{ N} \leq 124436,9 \text{ N} \geq 21375 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 4

$\emptyset(V_c + V_{s \text{ min}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s \text{ max}})$ → Perlu tulangan geser

$21375 \text{ N} \leq 124436,9 \text{ N} \geq 117075,6 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset(V_c + V_{s \text{ max}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_{s \text{ max}})$ → Perlu tulangan geser

$117075,6 \text{ N} \leq 124436,9 \text{ N} \leq 234151,3 \text{ N}$ (Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 5.

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\phi}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{124436,9 \text{ N} - 0 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 165916 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157 \times 240 \times 342}{165916}$$

$$S_{\text{perlu}} = 130 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 80 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$80 < \frac{342}{2}$$

$$80 \text{ mm} < 342 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$80 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-80 mm dengan 2 kaki

Cek persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok

Pada ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $\frac{d}{4} = \frac{342 \text{ mm}}{4} = 85,5 \text{ mm}$
- $6 \times D \text{ lentur}$
 $= 6 \times 16$
 $= 96 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka S pakai tidak boleh lebih dari 85,5 mm

Spakai < 108 mm

80 mm < 85,5 mm**memenuhi**

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-80 mm dengan sengkang 2 kaki

2) Pada wilayah (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} = \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \left(\frac{1}{2} \ln - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u2} = \frac{124436,9 \left(\frac{1}{2} \times (7000 - 700) - 2 \times 400 \right)}{\frac{1}{2} \times (7000 - 700)}$$

$$V_{u2} = 98759,4 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser
 $98759,4 \text{ N} \geq 0 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow$ Tulangan geser minimum
 $0 \text{ N} \leq 98759,4 \text{ N} \leq 0 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \rightarrow$ Tulangan geser minimum

$$0 \text{ N} \leq 98759,4 \text{ N} \geq 21375 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 4

$\emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser

$$21375 \text{ N} \leq 98759,4 \text{ N} \leq 117075,6 \text{ N (Memenuhi)}$$

Kondisi 5

$\emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser

$$117075,6 \text{ N} \geq 98759,4 \text{ N} \leq 234151,3 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\Phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{98759,4 \text{ N} - 0 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 131679 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157 \times 240 \times 342}{131679}$$

$$S_{\text{perlu}} = 163 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$150 < \frac{342}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 171 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10-150 mm dengan sengkang 2 kaki

4.3.2.3.4 Perhitungan panjang penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan **SNI 2847:2013 pasal 12**.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

$$A_s \text{ perlu} = 1422 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pasang} = 1608 \text{ mm}^2$$

$$D_b = 16 \text{ mm}$$

$$F_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\Psi_e = 1$$

$$\Psi_t = 1$$

$$\lambda = 1$$

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_d = 687 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{1422}{1608} \times 687$$

$$l_d = 607 \text{ mm} \approx 650 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$650 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 650 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

$A_s \text{ perlu}$	$= 1422 \text{ mm}^2$	f_y	$= 400 \text{ Mpa}$
$A_s \text{ pasang}$	$= 1608 \text{ mm}^2$	Ψ_e	$= 1$
D_b	$= 16 \text{ mm}$	λ	$= 1$
F_c	$= 30 \text{ Mpa}$		

Perhitungan

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_{dh} = 280,4 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{1422}{1608} \times 280,4$$

$$l_d = 248 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$300 \text{ mm} \geq 8 \times 16$$

$$300 \text{ mm} \geq 128 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 300 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 200 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 300 mm dan kait sepanjang 200 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran perlu

Properti

$A_s \text{ perlu}$	$= 804,2 \text{ mm}^2$	f_y	$= 400 \text{ Mpa}$
$A_s \text{ pasang}$	$= 1005,3 \text{ mm}^2$	f_c	$= 30 \text{ Mpa}$
D_b	$= 16 \text{ mm}$	λ	$= 1$

Perhitungan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_{dc} = 280,4 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 16$$

$$l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 280,4 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{804,2}{1005,3} \times 280,4$$

$$l_{dc} = 224 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

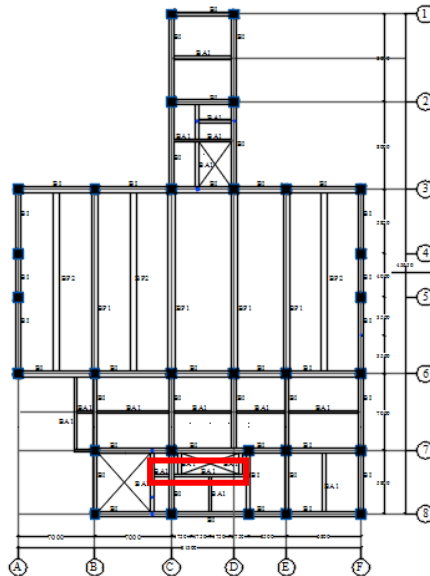
Syarat :

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

250 mm \geq 200 mm*memenuhi*

4.3.2.4 Perhitungan Tulangan Balok Penumpu Lift

Perhitungan tulangan penumpu lift : BL(25/40) As 8(B-C) elevasi $\pm 19,25$. Berikut data-data perencanaan balok anak, gambar denah balok, hasil output ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok anak dengan metode SRPMK, detail perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok anak adalah sebagai berikut:



Gambar 4.14 Denah balok penumpu lift tinjau

Data-data perencanaan tulangan balok anak :

Tipe balok	= BL
As balok	= 8(B-C)
Bentang balok (L balok)	= 7000 mm
Dimensi balok (b balok)	= 300 mm
Dimensi balok (h balok)	= 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	= 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	= 25 mm
Tebal selimut (t decking)	= 30 mm

Faktor β_1 = 0,85

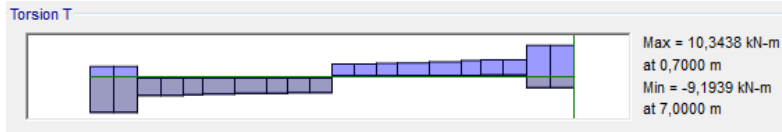
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ) = 0,8

Faktor reduksi kekuatan geser (Φ) = 0,75

Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ) = 0,75

Hasil output dan diagram gaya dari analisa ETABS:

Output gaya torsi

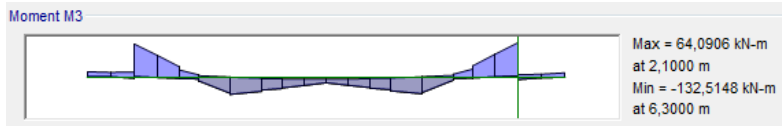


Kombinasi = Envelope

Momen torsi = 10,3438 kNm

Output momen lentur

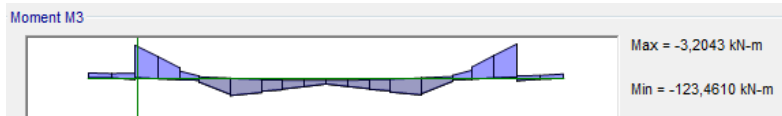
Momen lentur kanan maksimum



Kombinasi = Envelope

Momen lentur = 132,5148 kNm

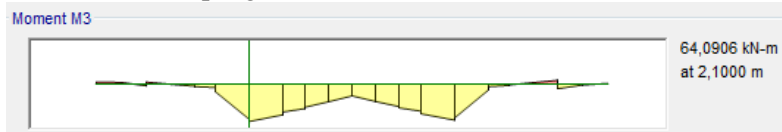
Momen lentur kiri maksimum



Kombinasi = Envelope

Momen lentur = 123,4610 kNm

Momen lentur lapangan maksimum



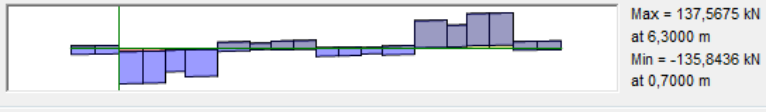
Kombinasi = Envelope

Momen lentur = 64,0906 kNm

Output gaya geser

Geser tumpuan kanan

Shear V2

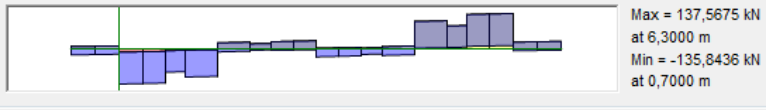


Kombinasi = Envelope

Gaya geser = 137,5675 kN

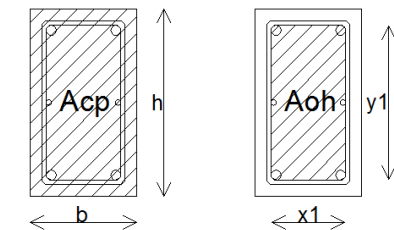
Gaya geser tumpuan kiri

Shear V2



Kombinasi = Envelope

Gaya geser = 135,8436 kN

4.3.2.4.1 Perhitungan penulangan puntirPeriksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser lentur dan puntir

Gambar 4.15 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\
 &= 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\
 &= 120000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\
 &= 1400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{deckng} - \phi_{geser}) \\
 &= (300\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm}) \times (400\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm}) \\
 &= 65100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{deckng} - \phi_{geser})] \\
 &= 2 \times [(300\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm}) + (400\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 10\text{mm})] \\
 &= 1016 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi = Envelope

$$Tu = 10343800 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{Tu}{\phi} \\
 T_n &= \frac{10343800 \text{ Nmm}}{0,75}
 \end{aligned}$$

$$T_n = 13791733,3 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

$$Vu = 137567,5 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$\begin{aligned}
 Tu_{\min} &= \frac{\phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\
 &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{120000^2}{1400} \right)}{12} \\
 &= 3521073,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tu_{\max} &= \frac{\phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3} \\
 &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{120000^2}{1400} \right)}{3} \\
 &= 14084294,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$Tu_{\min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{\min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$$T_{u_{\min}} < T_u$$

3521073,5 Nmm < 10343800 Nmm → **memerlukan tulangan puntir**

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 \cdot A_{oh}}\right)^2} \leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1\sqrt{f_c'}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{137567,5}{300 \cdot 342}\right)^2 + \left(\frac{10343800 \cdot 1016}{1,7 \cdot 65100}\right)^2} \leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1\sqrt{30}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{30}}{3}}$$

1,2 ≤ 3,184....**Memenuhi**

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 65100 \text{ mm}^2 \\ &= 55335 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{13791733,3}{2 \times 55335 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 0,51 \end{aligned}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot \Phi \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta$$

$$A_l = 0,51 \times 1016 \left(\frac{240}{400}\right) \cot^2 45$$

$$A_l = 316,5 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &\geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}} \\ 0,51 &\geq \frac{0,175 \times 300}{240} \end{aligned}$$

$$0,51 \geq 0,2188$$

Maka A_t/s dipakai = 0,51

$$A_{l \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$A_{l \min} = \frac{5 \times 120000 \sqrt{30}}{12 \times 400} - 0,51 \times 1016 \times \frac{240}{400}$$

$$A_{l \min} = 368,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l \text{perlu}} \leq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \min}$

$A_{l \text{perlu}} \geq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \text{perlu}}$

$A_{l \text{perlu}} > A_{l \min}$

$316,5 \text{ mm}^2 < 368,1 \text{ mm}^2 \rightarrow$ maka gunakan $A_{l \min}$

Maka tulangan torsi perlu sebesar $368,1 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada panampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{368,1 \text{ mm}^2}{4} = 92 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar $= 92 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{368,1 \text{ mm}^2}{4} = 184 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 2D13

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$265,46 \text{ mm}^2 \geq 184 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 2D13

4.3.2.4.2 Perhitungan penulangan lentur

DAERAH TUMPUAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205 \text{ mm} \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$A_{sc} = \frac{C_c}{f_y}$$

$$= \frac{650250}{400}$$

$$= 1626 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 1626 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 194749875 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{tumpuan}} = 132514800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\Phi}$$

$$M_n = \frac{132514800 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 165643500 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 165643500 \text{ Nmm} - 194749875 \text{ Nmm}$$

$$= -29106375 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan tulangan lentur tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{132514800 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 165643500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{165643500}{300 \times 342^2} = 4,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 4,7}{400}} \right]$$

$$= 0,013$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00342 < 0,013 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,013 \times 300 \times 342 + 92$$

$$A_s = 1442 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas
direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1442 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 7,1 \approx \text{maka dipakai tulangan 8D16}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 8 \\ &= 1608,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$1608,4 \text{ mm}^2 > 1442 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 92 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah
direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{92 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 0,4 \approx \text{maka dipakai tulangan 5D16}$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$A_s \text{ pasang} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 5$$

$$= 1005,3 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1005,3 \text{ mm}^2 > 92 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 5 buah

lapis 2 = 3 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 5 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 30 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 30 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

30 mm \geq 25 mm.....*memenuhi*

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok
Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 8D16 \\ &= 8 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 1608,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 5D16 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1005,3 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 1608,4 \text{ mm}^2$$

$$1005,3 \text{ mm}^2 \geq 804,2 \text{ mm}^2 \text{.....} \textbf{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 8D16$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 5D16$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 8D16 = 1608,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan } 5D16 = 1005,3 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1608,4 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 84 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 84 \\ &= 643398,1 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang

$$Mn = Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 643398,1 \times \left(342 - \frac{84}{2} \right)$$

$$Mn = 128542826,8 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$Mn \text{ pasang} \geq Mn \text{ perlu}$$

$$197044330,9 \text{ Nmm} \geq 165643500 \text{memenuhi}$$

DAERAH LAPANGAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan kiri yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205 \text{ mm} \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{650250}{400} \\ &= 1626 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 1626 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 194749875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 64090600 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{64090600 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 80113250 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 80113250 \text{ Nmm} - 194749875 \text{ Nmm}$$

$$= -110891250 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan tulangan lentur tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{64090600 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 80113250 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{80113250}{300 \times 342^2} = 2,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 2,3}{400}} \right]$$

$$= 0,006$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00342 < 0,006 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,006 \times 300 \times 342 + 92$$

$$A_s = 706,5 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{706,5 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 3,5 \approx \text{maka dipakai tulangan 4D16}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$A_s \text{ pasang} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 4$$

$$= 804,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$804,2 \text{ mm}^2 > 706,5 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 92 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D16

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{92 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16^2)}$$

$$n = 0,4 \approx \text{maka dipakai tulangan 3D16}$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \times 3 \\ &= 603,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$603,1 \text{ mm}^2 > 92 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 1 lapis

lapis 1 = 4 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 3 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1}$$

$$S_{maks} = 45,3 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$45,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3-1}$$

$$S_{maks} = 76 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$76 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur lapangan } (-) \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= 3D16 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times (16^2) \\ &= 603,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur lapangan } (-) \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max } (-)$$

$$603,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} \times 1608,4 \text{ mm}^2$$

$$603,1 \text{ mm}^2 \geq 402,1 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

Tulangan tarik serat atas = 4D16

Tulangan tekan serat bawah = 3D16

Cek momen nominal penampang

As tulangan tarik 4D16 = 804,2 mm²

As' tulangan tekan 3D16 = 603,1 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(804,2 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 42 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times 42$$

$$= 321699 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 321699 \times \left(342 - \frac{42}{2} \right)$$

$$M_n = 104271626,7 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$$

$$104271626,7 \text{ Nmm} \geq 80113250 \dots \text{memenuhi}$$

4.3.2.4.3 Perhitungan penulangan geser

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah penulangan geser balok dibagi menjadi 2 bagian:

- 1) Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom
- 2) Wilayah lapangan dimulai dari wilayah akhir tumpuan sampai ke tengah bentang balok

Syarat kuat tekan beton(f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh lebih dari 25/3 Mpa

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \dots \text{memenuhi}$$

Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 342$$

$$V_c = 93660,5 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 300 \times 342$$

$$V_{s_{\min}} = 34200 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 342$$

$$V_{s_{\max}} = 187321,1 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 342$$

$$V_{s_{\max}} = 374642,2 \text{ N}$$

DAERAH TUMPUAN

Berdasarkan hasil output ETABS akibat kombinasi Envelope

$$V_{u.\text{tumpuan}} = 137567,5 \text{ N}$$

Cek kondisi

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$137567,5 \text{ N} \geq 35122,7 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$35122,7 \text{ N} \leq 137567,5 \text{ N} \geq 70245,4 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s \min}) \quad \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$70245,4 \text{ N} \leq 137567,5 \text{ N} \geq 95895,4 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset(V_c + V_{s \min}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s \max}) \quad \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$95895,4 \text{ N} \leq 137567,5 \text{ N} \leq 210736,2 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Kondisi 5

$$\emptyset(V_c + V_{s \max}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_{s \max}) \quad \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$210736,2 \text{ N} \geq 137567,5 \text{ N} \leq 351227,09 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\Phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{137567,5 \text{ N} - 70245,4 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 89763 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10 mm dengan 2 kaki,
maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\ &= 157,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ S_{\text{perlu}} &= \frac{157,8 \times 240 \times 342}{89763} \\ S_{\text{perlu}} &= 144 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\ 125 &< \frac{342}{2} \\ 125 \text{ mm} &< 171 \text{ mm} \text{} \textbf{memenuhi} \\ \text{dan} \\ S_{\text{max}} &< 600 \\ 125 \text{ mm} &< 600 \text{ mm} \text{...} \textbf{memenuhi} \end{aligned}$$

Sehingga pada tumpuan kiri dipakai tulangan geser Ø10-125 mm

DAERAH LAPANGAN

Gaya geser pada wilayah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2} \ln-2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1(\frac{1}{2} \ln-2h)}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$Vu2 = \frac{137567,5 (\frac{1}{2} \times (7000-400) - 2 \times 400)}{\frac{1}{2} \times (7000-400)}$$

$$Vu2 = 104217,8 \text{ N}$$

Maka,

$$Vu_{\text{lapangan}} = 104217,8 \text{ N}$$

Cek kondisi

Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$104217,8 \text{ N} \geq 35122,7 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$35122,7 \text{ N} \leq 104217,8 \text{ N} \geq 70245,4 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vs \text{ min}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$104217,8 \text{ N} \leq 74749 \text{ N} \geq 95895,4 \text{ N (Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset(Vc + Vs \text{ min}) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vs \text{ max}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$95895,4 \text{ N} \leq 104217,8 \text{ N} \leq 210736,2 \text{ N (Memenuhi)}$$

Kondisi 5

$$\emptyset(Vc + Vs \text{ max}) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + 2Vs \text{ max}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$210736,2 \text{ N} \geq 104217,8 \text{ N} \leq 351227,09 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{104217,8 \text{ N} - 70245,4 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 45297 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\ &= 157,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157,8 \times 240 \times 279}{45297}$$

$$S_{\text{perlu}} = 285 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$150 < \frac{342}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 171 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Sehingga pada lapangani dipakai tulangan geser Ø10-150 mm

4.3.2.4.4 Perhitungan panjang penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan **SNI 2847:2013 pasal 12**.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 1339 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 1608 mm ²	Ψ_e	= 1
Db	= 16 mm	Ψ_t	= 1
Fc	= 30 Mpa	λ	= 1

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_d = 687 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{1339}{1608} \times 1031$$

$$l_d = 572 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$600 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 600 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

$$A_s \text{ perlu} = 1339 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pasang} = 1608 \text{ mm}^2$$

$$D_b = 16 \text{ mm}$$

$$F_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\Psi_e = 1$$

$$\lambda = 1$$

Perhitungan

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_{dh} = 280,4 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{1339}{1608} \times 280,4$$

$$l_d = 233 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$250 \text{ mm} \geq 8 \times 16$$

$$250 \text{ mm} \geq 128 \text{ mm} \text{} \textbf{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \text{} \textbf{memenuhi}$$

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 250 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 200 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 250 mm dan kait 200 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 804,2 mm ²	fy	= 400 Mpa
As pasang	= 1005,3 mm ²	Fc	= 30 Mpa
Db	= 16 mm	λ	= 1

Perhitungan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \right) 16$$

$$l_{dc} = 280,4 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 16$$

$$l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 280,4 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{804,2}{1005,3} \times 280,4$$

$$l_{dc} = 224 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Syarat :

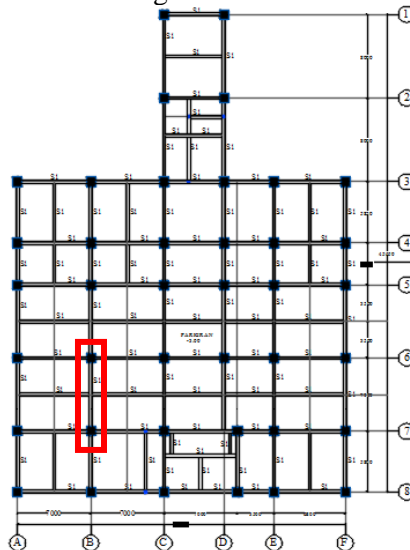
$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka dipakai panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 250 mm

4.3.2.5 Perhitungan Tulangan Sloof

Perhitungan tulangan sloof : S(35/50) As B(6-7) elevasi - 1,00. Berikut data-data perencanaan sloof, gambar denah sloof, hasil output ETABS, ketentuan perhitungan penulangan sloof dengan metode SRPMK, detail perhitungan serta hasil akhir gambar penampang sloof adalah sebagai berikut:



Gambar 4.16 Denah sloof tinjau

Data-data perencanaan tulangan sloof :

Tipe sloof	= S1
As sloof	= B(6-7)
Bentang sloof (L sloof)	= 7000 mm
Dimensi sloof (b sloof)	= 350 mm
Dimensi sloof (h sloof)	= 500 mm

Kuat tekan beton (f_c')	= 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	= 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	= 25 mm
Tebal selimut (t decking)	= 50 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ)	= 0,75

Hasil output dan diagram gaya dari analisa SAP 2000:

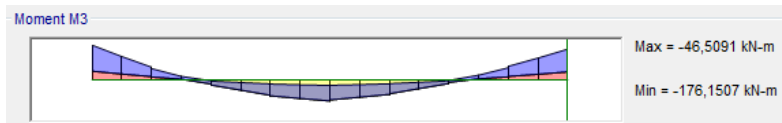
Output gaya torsi



Kombinasi = Envelope
Momen torsi = 20,9424 kNm

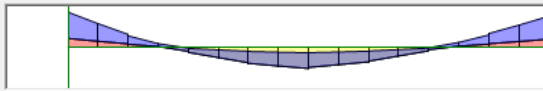
Output momen lentur

Momen lentur kanan maksimum



Kombinasi = Envelope
Momen lentur = 176,1507 kNm
Momen lentur kiri maksimum

Moment M3

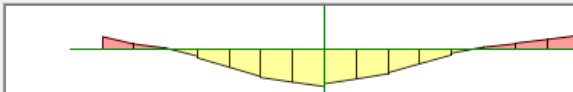


Max = -50,2412 kN-m

Min = -198,8410 kN-m

Kombinasi = Envelope
 Momen lentur = 198,8410 kNm
 Momen lentur lapangan maksimum

Moment M3



123,7469 kN-m

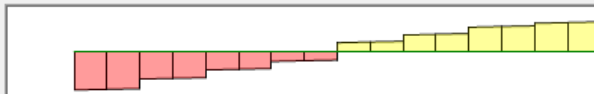
at 3,5000 m

Kombinasi = Envelope
 Momen lentur = 123,7469 kNm

Output gaya geser

Geser tumpuan kanan

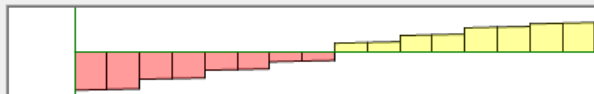
Shear V2



88,5178 kN

Kombinasi = 1,2D+L
 Gaya geser = 88,5178 kN
 Gaya geser tumpuan kiri

Shear V2



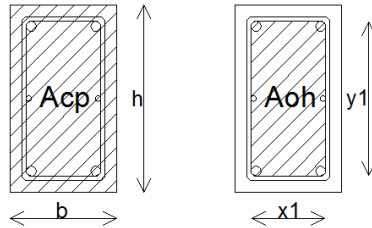
-113,1109 kN

Kombinasi = 1,2D+L
 Gaya geser = 113,1109 kN

4.3.2.5.1 Perhitungan penulangan puntir

Cek kebutuhan tulangan torsi

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser lentur dan puntir



Gambar 4.17 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\
 &= 350 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\
 &= 175000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\
 &= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\
 &= 1700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\
 &= (350 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 79560 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\
 &= 2 \times [(350 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 1224 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

$$\begin{aligned}
 \text{Akibat kombinasi} &= \text{Envelope} \\
 T_u &= 20942400 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{20942400 \text{ Nmm}}{0,75} \\
 T_n &= 20942400 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Geser ultimate

$$V_u = 113110,9 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$\begin{aligned} T_{u \min} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{175000^2}{1700} \right)}{12} \\ &= 6166912,9 \text{ Nmm} \\ T_{u \max} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{175000^2}{1700} \right)}{3} \\ &= 24667651,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$

$6166912,9 \text{ Nmm} < 20942400 \text{ Nmm} \rightarrow$ **memerlukan tulangan puntir**

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 \cdot A_{oh}} \right)^2} &\leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1 \sqrt{f_c'}}{6} \right) + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3}} \\ \sqrt{\left(\frac{113110,9}{350.430,5} \right)^2 + \left(\frac{20942400.1224}{1,7.79560} \right)^2} &\leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1 \sqrt{30}}{6} \right) + \frac{2 \sqrt{30}}{3}} \end{aligned}$$

$0,751 \leq 3,184 \dots$ **Memenuhi**

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 93600 \text{ mm}^2 \\ &= 79560 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{27923200}{2 \times 79560 \times 240 \times \cot 45} \\
 &= 0,731 \\
 I_t &= \frac{A_t}{s} \cdot Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\
 I_t &= 0,731 \times 1224 \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45 \\
 I_t &= 536,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}}$$

$$0,731 \geq \frac{0,175 \times 350}{240}$$

$$0,731 \geq 0,255$$

Maka A_t/s dipakai = 0,731

$$I_{t \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$I_{t \min} = \frac{5 \times 175000 \sqrt{30}}{12 \times 400} - 0,731 \times 1224 \times \frac{240}{400}$$

$$I_{t \min} = 461,4 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$I_{t \text{ perlu}} \leq I_{t \min}$ maka gunakan $I_{t \min}$

$I_{t \text{ perlu}} \geq I_{t \min}$ maka gunakan $I_{t \text{ perlu}}$

$I_{t \text{ perlu}} > I_{t \min}$

$536,9 \text{ mm}^2 > 461,4 \text{ mm}^2 \rightarrow$ maka gunakan $I_{t \text{ perlu}}$

Maka tulangan torsi perlu sebesar $536,9 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{536,9 \text{ mm}^2}{4} = 134,2 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar = $134,2 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{536,9 \text{ mm}^2}{4} = 268,4 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 2D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times 2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 268,4 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 4D16

4.3.2.5.2 Perhitungan penulangan lentur

DAERAH TUMPUAN KIRI

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan kiri yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 430,5 \\ &= 258 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 258 \text{ mm} \\ &= 194 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 69,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 350 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 758625 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{758625}{400} \\ &= 1897 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 1897 \times 400 \times \left(430,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 294346500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 198841000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi}$$

$$M_n = \frac{198841000 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 248551250 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 248551250 \text{ Nmm} - 294346500 \text{ Nmm}$$

$$= -45795250 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{198841000 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 248551250 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{248551250}{350 \times 430,5^2} = 3,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,68 \cdot 3,8}{400}} \right]$$

$$= 0,0104$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,00342 < 0,0104 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0104 \times 350 \times 430,5 + 134,2$$

$$A_s = 1706 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D19

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1633 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 6,01 \approx \text{maka dipakai tulangan 7D19}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 7 \\ &= 1984,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

1984,7 mm² > 1706 mm²....*memenuhi*

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$As' = \frac{A_l}{4}$$

$$As' = 134,2 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D19

$$n = \frac{As'}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{134,2 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$n = 0,4 \approx$ maka dipakai tulangan 4D19

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 4 \\ &= 1134,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

1134,1 mm² > 134,2 mm²....*memenuhi*

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 5 buah

lapis 2 = 2 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 4 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5-1}$$

$$S_{maks} = 33 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4-1}$$

$$S_{maks} = 51,3 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$51,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\text{As pasang} = 7D19$$

$$= 7 \times 0,25 \times 3,14 \times (19^2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1984,7 \text{ mm}^2 \\
 \text{As' pasang} &= 4\text{D19} \\
 &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \\
 &= 1134,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{M lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times \text{M lentur tumpuan (-)}$$

$$1134,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 1984,7 \text{ mm}^2$$

$$1134,1 \text{ mm}^2 \geq 992,3 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 7\text{D19}$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 4\text{D19}$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik 6D19} = 1984,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan 4D19} = 1134,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1984,7 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 89 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$\text{Cc'} = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 350 \times 89$$

$$= 793880,4 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$\text{Mn} = \text{Cc'} \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\text{Mn} = 793880,4 \times \left(430,5 - \frac{89}{2} \right)$$

$$M_n = 128542826,8 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$

$$311753816,2 \text{ Nmm} \geq 248551250 \text{memenuhi}$$

DAERAH LAPANGAN

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan kiri yaitu akibat kombinasi : Envelope

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 430,5 \\ &= 258 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 258 \text{ mm} \\ &= 194 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 69,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 350 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 758625 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\
 &= \frac{758625}{400} \\
 &= 1897 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1897 \times 400 \times \left(430,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 294346500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u\text{lapangan}} = 123746900 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\Phi} \\
 &= \frac{123746900 \text{ Nmm}}{0,8}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 154683625 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 154683625 \text{ Nmm} - 294346500 \text{ Nmm} \\
 &= -139662875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan tulangan lentur tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_b = \frac{0,85.f_c'.\beta}{f_y} + \frac{600}{600+f_y} = \frac{0,85.30.0,85}{400} + \frac{600}{600+400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 . \rho_b = 0,75 . 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'} = \frac{400}{0,85.30} = 15,68$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{123746900 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 154683625 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d_x^2} = \frac{154683625}{350 \times 430,5^2} = 2,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,68} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,68.2,4}{400}} \right]$$

$$= 0,0063$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00342 < 0,0064 < 0,0243 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = p_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0064 \times 350 \times 430,5 + 134,2$$

$$A_s = 1079 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas
direncanakan tulangan pakai D19

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1079 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 3,8 \approx \text{maka dipakai tulangan } 4D19$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$A_s \text{ pasang} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 4$$

$$= 1134,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$1134,1 \text{ mm}^2 > 1079 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan
tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 134,2 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah
direncanakan tulangan pakai D19

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{134,2 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$n = 0,4 \approx$ maka dipakai tulangan 2D19

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 2 \\ &= 567,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$567,05 \text{ mm}^2 > 134,2 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 4 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 2 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{350 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 51,3 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$51,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{350 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 192 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$192 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok
Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 7D19 \\ &= 7 \times 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \\ &= 1984,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= 2D19 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \\ &= 567,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567,05 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 1984,7 \text{ mm}^2$$

$$567,05 \text{ mm}^2 \geq 496,1 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 4D19$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 2D19$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik 4D19} = 1134,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan 2D19} = 567,05 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1134,1 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 51 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 350 \times 51$$

$$= 453645,9 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 453645,9 \times \left(430,5 - \frac{51}{2} \right)$$

$$M_n = 185494847,6 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$$

$$185494847,6 \text{ Nmm} \geq 154683625 \text{memenuhi}$$

4.3.2.5.3 Perhitungan penulangan geser

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pasang} = 1984,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{A' pasang} = 1134,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{1984,7 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350}$$

$$a = 111,2 \text{ mm}$$

$$Mn_{kiri} = As \text{ pasang} \times fy \times 1,25 \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn_{kiri} = 1984,7 \times 400 \times 1,25 \left(430,5 - \frac{111,2}{2} \right)$$

$$Mn_{kiri} = 372038315,3 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$As \text{ pasang} = 1984,7 \text{ mm}^2$$

$$A' \text{ pasang} = 1134,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \text{ pasang} \times fy}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$a = \frac{1134,1 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350}$$

$$a = 63,5 \text{ mm}$$

$$Mn_{kanan} = As' \text{ pasang} \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn_{kanan} = 1134,1 \times 400 \times 1,25 \left(430,5 - \frac{63,5}{2} \right)$$

$$Mn_{kanan} = 226104003 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output SAP akibat kombinasi 1,2D+L

$$Vu = 113110,9 \text{ N}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + \frac{Wu \times Ln}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

[SNI 2847:2013 pasal 11.3.2.3]

Maka

$$V_{u1} = \frac{372038315,3 \text{ Nmm} + 226104003 \text{ Nmm}}{(7000\text{mm} - \frac{900 \text{ mm}}{2} - \frac{900 \text{ mm}}{2})} + 113110,9 \text{ N}$$

$$V_{u1} = 211167 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton(f_c')Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh lebih dari 30/3 Mpa

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \dots \text{memenuhi}$$

Kuat geser beton

$$V_c = 0$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 350 \times 430,5$$

$$V_{s_{\min}} = 50225 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 350 \times 430,5$$

$$V_{s_{\max}} = 275093,6 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 350 \times 430,5$$

$$V_{s_{\max}} = 550187,3 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah penulangan geser balok dibagi menjadi 2 bagian:

- 1) Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom
- 2) Wilayah lapangan dimulai dari wilayah akhir tumpuan sampai ke tengah bentang balok

Penulangan geser balok

Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 211167 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$211167 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$0 \text{ N} \leq 211167 \text{ N} \geq 0 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$0 \text{ N} \leq 211167 \text{ N} \geq 37668,75 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$37668,75 \text{ N} \leq 211167 \text{ N} \geq 206320,2 \text{ N (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 5

$$\phi(V_c + V_s \min) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_s \max) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$37668,75 \text{ N} \leq 211167 \text{ N} \leq 412640,4 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 5.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{211167 \text{ N} - 0 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 281556 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 3 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 3$$

$$= 235,6 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{235,6 \times 240 \times 430,5}{281556}$$

$$S_{\text{perlu}} = 144 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$100 < \frac{430,5}{2}$$

$$100 \text{ mm} < 215,3 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\max} < 600$$

$$100\text{mm} < 600\text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-100 mm dengan 3 kaki

Cek persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok

Pada ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $\frac{d}{4} = \frac{430,5\text{ mm}}{4} = 108\text{ mm}$
- $6 \times D \text{ lentur}$
 $= 6 \times 19$
 $= 114\text{ mm}$
- 150 mm

Maka S pakai tidak boleh lebih dari 108 mm

$$S_{\text{pakai}} < 108\text{ mm}$$

$$100\text{ mm} < 108\text{ mm} \dots \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-100 mm dengan sengkang 2 kaki

Pada wilayah lapangan

Gaya geser pada wilayah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} = \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \left(\frac{1}{2} \ln 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u2} = \frac{211167 \left(\frac{1}{2} \times 7000 - 2 \times 500 \right)}{\frac{1}{2} \times 7000}$$

$$V_{u2} = 141931,9 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser
 $141931,9 \text{ N} \geq 0 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan geser minimum
 $0 \text{ N} \leq 141931,9 \text{ N} \geq 0 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \rightarrow$ Tulangan geser minimum
 $0 \text{ N} \leq 141931,9 \text{ N} \geq 37668,75 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $37668,75 \text{ N} \leq 141931,9 \text{ N} \leq 206320,2 \text{ N}$ (memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $206320,2 \text{ N} \geq 141931,9 \text{ N} \leq 412640,4 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{141931,9 \text{ N} - 0 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 189243 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10 mm dengan 3 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 3$$

$$= 235,6 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{235,6 \times 240 \times 430,5}{189243}$$

$$S_{\text{perlu}} = 214 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$200 < \frac{430,5}{2}$$

$$200 \text{ mm} < 215,3 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\text{max}} < 600$$

200mm<600 mm...*memenuhi*

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10-200 mm dengan sengkang 3 kaki

4.3.2.5.4 Perhitungan panjang penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan *SNI 2847:2013 pasal 12*.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 1706 mm ²	f _y	= 400 Mpa
As pasang	= 1984,7 mm ²	Ψ _e	= 1
Db	= 19 mm	Ψ _t	= 1
Fc	= 30 Mpa	λ	= 1

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) 19$$

$$l_d = 816 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{1706}{1984,7} \times 816$$

$$l_d = 701,7 \text{ mm} \approx 750 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$750 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 750 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 1706 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 1984,7 mm ²	Ψ_e	= 1
Db	= 19 mm	λ	= 1
Fc	= 30 Mpa		

Perhitungan

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right) 19$$

$$l_{dh} = 333 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{1706}{1984,7} \times 333$$

$$l_d = 286 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$300 \text{ mm} \geq 8 \times 19$$

$$300 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

350 mm \geq 150 mm*memenuhi*

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 300 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 228 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 250 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 300 mm dan kait sepanjang 250 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 992,4 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 1134,1 mm ²	F_c	= 30 Mpa
Db	= 19 mm	λ	= 1

Perhitungan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \right) 19$$

$$l_{dc} = 333 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 19$$

$$l_{dc} = 326,8 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 333 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{992,4}{1134,1} \times 333$$

$$l_{dc} = 291,3 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

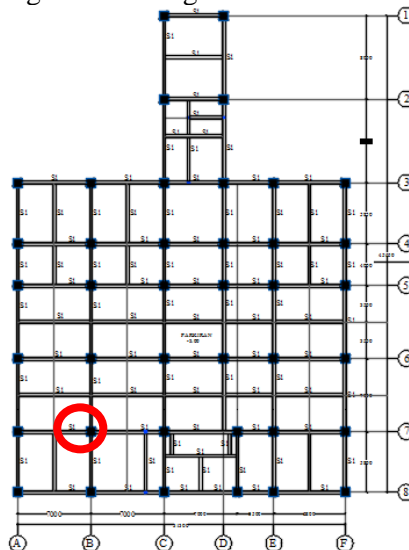
$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka dipakai panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 300 mm

4.3.2.6 Perhitungan Tulangan Kolom

Berikut akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar. Sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As 6-A pada lantai parkir. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output kolom dalam metode SRPMK, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom sebagai berikut :



Gambar 4.18 Kolom tinjau

Data perencanaan tulangan kolom

Tipe kolom	: K1
As kolom	: 7-B
Tinggi kolom	: 3000 mm
b kolom	: 900 mm
h kolom	: 900 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 35 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	: 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 13 mm
Tebal selimut beton (decking)	: 50 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
Faktor β_1	: 0,77
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	: 0,65
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	: 0,75

Data hasil output ETABS

Tabel 4.16 Output gaya kolom K1 bawah

Kombinasi beban	P	My	Mx
	kN	kNm	kNm
1) 1,4D	-6286,0454	-33,3398	1,7
2) 1,2D+1,6L+0,5R	-8293,3165	-72,3945	-12,497
3) 1,2D+1,6L+0,5Lr	-8294,9602	-72,3917	-12,5019
4) 1,2D+1,6R+L	-7210,7512	-55,9606	-7,269
5) 1,2D+1,6R+0,5W Max	-5381,3578	-24,9788	5,3572
5) 1,2D+1,6R+0,5W Min	-5401,7085	-31,2939	0,7957
6) 1,2D+1,6Lr+L	-7216,0109	-55,9514	-7,2847
7) 1,2D+1,6Lr+0,5W Max	-5386,6176	-24,9696	5,3415
7) 1,2D+1,6Lr+0,5W Min	-5406,9682	-31,2847	0,78
8) 1,2D+W+L+0,5R Max	-7174,2985	-48,7721	0,5472
8) 1,2D+W+L+0,5R Min	-7214,9998	-61,4023	-8,5758

9) 1,2D+W+L+0,5Lr Max	-7175,9422	-48,7692	0,5423
9) 1,2D+W+L+0,5Lr Min	-7216,6434	-61,3994	-8,5807
10) (1,2+0,2Sds)D+L+0,3Ex+1Ey Max	-6746,4302	444,8277	146,2758
10) (1,2+0,2Sds)D+L+0,3Ex+1Ey Min	-8606,1833	-561,7843	-160,5453
10) (1,2+0,2Sds)D+L-0,3Ex-1Ey Max	-6746,4302	444,8277	146,2758
10) (1,2+0,2Sds)D+L-0,3Ex-1Ey Min	-8606,1833	-561,7843	-160,5453
11) (1,2+0,2Sds)D+L+1Ex+0,3Ey Max	-5835,2644	204,493	422,0261
11) (1,2+0,2Sds)D+L+1Ex+0,3Ey Min	-9517,3491	-321,4496	-436,2957
11) (1,2+0,2Sds)D+L-1Ex-0,3Ey Max	-5835,2644	204,493	422,0261
11) (1,2+0,2Sds)D+L-1Ex-0,3Ey Min	-9517,3491	-321,4496	-436,2957
12) 0,9D+W Max	-4010,4834	-14,2423	8,905
12) 0,9D+W Min	-4051,1846	-26,8724	-0,2181
13) (0,9-0,2Sds)D+1Ex+0,3Ey Max	-1725,8394	244,0533	430,1256
13) (0,9-0,2Sds)D+1Ex+0,3Ey Min	-5407,9241	-281,8893	-428,1963
13) (0,9-0,2Sds)D-1Ex-0,3Ey Max	-1725,8394	244,0533	430,1256
13) (0,9-0,2Sds)D-1Ex-0,3Ey Min	-5407,9241	-281,8893	-428,1963
14) (0,9-0,2Sds)D+0,3Ex+1Ey Max	-2637,0052	484,388	154,3752
14) (0,9-0,2Sds)D+0,3Ex+1Ey Min	-4496,7583	-522,224	-152,4459
14) (0,9-0,2Sds)D-0,3Ex-1Ey Max	-2637,0052	484,388	154,3752
14) (0,9-0,2Sds)D-0,3Ex-1Ey Min	-4496,7583	-522,224	-152,4459

Tabel 4.17 Output gaya kolom K1 atas

Kombinasi beban	P	My	Mx
	kN	kNm	kNm
1) 1,4D	-6224,6589	30,1888	0,8042
2) 1,2D+1,6L+0,5R	-8240,6996	70,3951	28,5679
3) 1,2D+1,6L+0,5Lr	-8242,3432	70,3834	28,5713
4) 1,2D+1,6R+L	-7158,1342	53,7124	18,1316
5) 1,2D+1,6R+0,5W Max	-5328,7408	26,5904	1,5367
5) 1,2D+1,6R+0,5W Min	-5349,0915	25,4648	0,6957
6) 1,2D+1,6Lr+L	-7163,3939	53,6752	18,1427
7) 1,2D+1,6Lr+0,5W Max	-5334,0006	26,5533	1,5478

7) 1,2D+1,6Lr+0,5W Min	-5354,3512	25,4277	0,7069
8) 1,2D+W+L+0,5R Max	-7121,6815	55,1012	19,7656
8) 1,2D+W+L+0,5R Min	-7162,3828	52,85	18,0837
9) 1,2D+W+L+0,5Lr Max	-7123,3252	55,0896	19,769
9) 1,2D+W+L+0,5Lr Min	-7164,0264	52,8384	18,0871
10) (1,2+0,2Sds)D+L+0,3Ex+1Ey Max	-6689,1829	159,0411	59,7376
10) (1,2+0,2Sds)D+L+0,3Ex+1Ey Min	-8548,936	-47,0918	-23,3982
10) (1,2+0,2Sds)D+L-0,3Ex-1Ey Max	-6689,1829	159,0411	59,7376
10) (1,2+0,2Sds)D+L-0,3Ex-1Ey Min	-8548,936	-47,0918	-23,3982
11) (1,2+0,2Sds)D+L+1Ex+0,3Ey Max	-5778,0171	113,2233	111,3689
11) (1,2+0,2Sds)D+L+1Ex+0,3Ey Min	-9460,1018	-1,274	-75,0296
11) (1,2+0,2Sds)D+L-1Ex-0,3Ey Max	-5778,0171	113,2233	111,3689
11) (1,2+0,2Sds)D+L-1Ex-0,3Ey Min	-9460,1018	-1,274	-75,0296
12) 0,9D+W Max	-3971,0206	20,8061	2,1665
12) 0,9D+W Min	-4011,7219	18,5549	0,4846
13) (0,9-0,2Sds)D+1Ex+0,3Ey Max	-1691,0069	74,3787	93,6556
13) (0,9-0,2Sds)D+1Ex+0,3Ey Min	-5373,0916	-40,1186	-92,7429
13) (0,9-0,2Sds)D-1Ex-0,3Ey Max	-1691,0069	74,3787	93,6556
13) (0,9-0,2Sds)D-1Ex-0,3Ey Min	-5373,0916	-40,1186	-92,7429
14) (0,9-0,2Sds)D+0,3Ex+1Ey Max	-2602,1727	120,1964	42,0242
14) (0,9-0,2Sds)D+0,3Ex+1Ey Min	-4461,9259	-85,9364	-41,1115
14) (0,9-0,2Sds)D-0,3Ex-1Ey Max	-2602,1727	120,1964	42,0242
14) (0,9-0,2Sds)D-0,3Ex-1Ey Min	-4461,9259	-85,9364	-41,1115

Gaya geser maksimum $V_e = 225,3 \text{ kN}$

Cek persyaratan struktur penahan gempa

$$\frac{A_g \times f_c}{10} < P_u$$

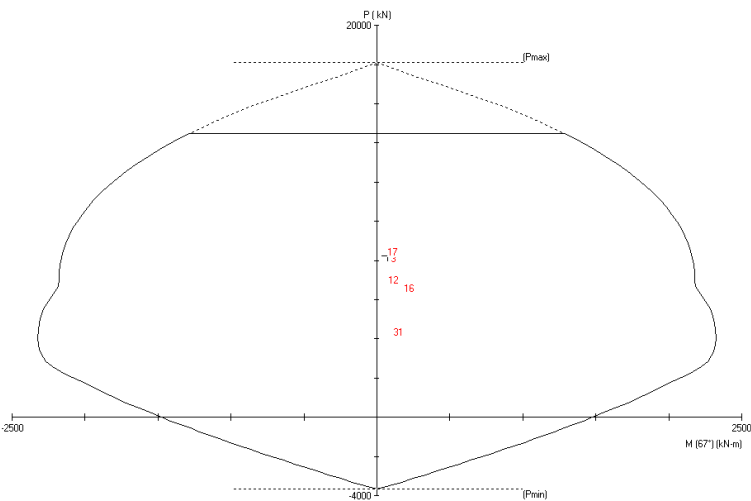
$$\frac{900 \times 900 \times 35}{10} < 9517000 \text{ N}$$

$$2835000 \text{ N} < 9517000 \text{ N} \text{ (*Memenuhi*)}$$

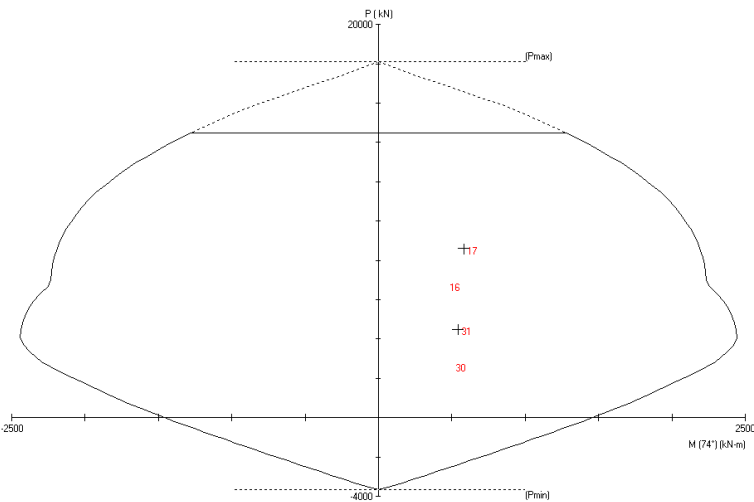
4.3.2.6.1 Perhitungan penulangan lentur

Penulangan lentur kolom menggunakan program bantu pcaColumn.

Dicoba tulangan lentur pasang **20 D 25** dengan $A_s = 9817,4 \text{ mm}^2$, dengan output sebagai berikut



Gambar 4.19 Diagram interaksi P-M kolom K1 atas as 6-A



Gambar 4.20 Diagram interaksi P-M kolom K1 bawah as 6-A

Dari diagram diatas diketahui bahwa diagram kapasitas kolom menunjukkan kemampuan kolom telah memenuhi dengan rasio tulangan $\rho = 1,26 \%$. Dari persyaratan SNI 2847:2013 pasal 10.9.1 dinyatakan bahwa struktur tekan memiliki rasio izin tulangan antara 1% - 8 %, maka penulangan lentur hasil desain telah memenuhi.

Aksial kolom

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,85 \times \phi \times (0,85 f_{c'} (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}) \\ &= 0,85 \times 0,65 \times (0,85 \times 35 (900 \times 900 - 9817,4) + 400 \times 9817,4) \\ &= 14420858,8 \text{ N}\end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 9517000 \text{ N}$$

$$\phi P_n > P_u \text{ max}$$

$$14420858,8 \text{ N} > 9517000 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

4.3.2.6.2 Perhitungan penulangan geser

Gaya geser desain, V_e , kolom ditentukan dari M_{pr} ujung-ujung kolom sesuai output program *pcaColumn*. Nilai V_e akibat M_{pr} kolom tidak perlu diambil lebih besar dari V_e akibat M_{pr} balok-balok yang merangka pada join.

GESER TUMPUAN

Geser desain akibat M_{pr} kolom

M_{pr} hasil output *pcaColumn*

16	6689.0	60.0	159.0	1160.0	3074.1	19.334
17	8549.0	23.0	47.0	1460.2	2983.9	63.487
18	5778.0	111.0	113.0	2131.7	2170.1	19.205
19	9460.0	75.0	1.0	3841.3	51.2	51.217
20	5778.0	111.0	113.0	2131.7	2170.1	19.205
21	9460.0	75.0	1.0	3841.3	51.2	51.217
22	3971.0	2.0	21.0	289.0	3034.5	144.501
23	4012.0	0.0	19.0	-0.0	3111.0	163.735

Gambar 4.21 Output gaya kolom K1 atas as 6-A

16	6746.0	146.0	445.0	1038.6	3165.7	7.114
17	8606.0	161.0	562.0	955.4	3334.8	5.934
18	5835.0	422.0	204.0	2832.7	1369.4	6.713
19	9517.0	436.0	321.0	2629.3	1935.8	6.031
20	5835.0	422.0	204.0	2832.7	1369.4	6.713
21	9517.0	436.0	321.0	2629.3	1935.8	6.031
22	4010.0	9.0	14.0	1550.1	2411.2	172.230

Gambar 4.22 Output gaya kolom K1 bawah as 6-A

Catatan : Momen probable output pcaColumn adalah Mpr dengan faktor reduksi $\Phi = 1$

Dari hasil output di atas maka didapatkan gaya Mpr kolom yaitu :

Mpr atas = 3111 kNm

Mpr bawah = 2411,2 kNm

$$V_{ul} = \frac{M_{pr \text{ atas}} + M_{pr \text{ bawah}}}{h}$$

$$= \frac{3111 \text{ kNm} + 2411,2 \text{ kNm}}{3 \text{ m}}$$

$$= 1840,7 \text{ kN}$$

Geser desain akibat Mpr balok

Data balok yang merangka ke join :

As = 2660,9 mm² d = 639 mm

As = 1520,5 mm² f_c = 30 Mpa

Mpr balok-balok yang merangka

$$M_{prl} = \frac{A_s \text{ pasang} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{2660,9 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$= 130,4 \text{ mm}$$

$$M_{prl} = A_s \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2660,9 \times 400 \times 1,25 \left(639 - \frac{130,4}{2} \right)$$

$$= 763395447,8 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr2} &= \frac{A_s \text{ pasang} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{1520,5 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 74,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= A_s \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1520,5 \times 400 \times 1,25 \left(639 - \frac{74,5}{2}\right) \\
 &= 457476099,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{u2} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_u} \\
 &= \frac{763395447,8 + 457476099,3}{(7000 - 900)} \\
 &= 200,1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi desain geser

- Geser desain akibat kolom tidak perlu lebih dari geser desain akibat balok, karena $V_e \text{ kolom} > V_e \text{ Balok}$, $1840,7 \text{ kN} > 200,1 \text{ kN}$, maka $V_e = V_e \text{ balok} = 200,1 \text{ kN}$
- Geser desain yang diambil tidak boleh kurang dari V_e hasil analisa struktur, karena $V_e \text{ balok} < V_e \text{ ETABS}$, $200,1 \text{ kN} < 225,3 \text{ kN}$, maka $V_e \text{ desain} = V_e \text{ ETABS} = 225,3 \text{ kN}$

Dari kondisi di atas maka $V_e \text{ desain} = 225,3 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{5798,83 \times 10^3}{14 \times (900 \times 900)}\right) 1 \times \sqrt{35} \times 900 \times 825 \\
 &= 1372634,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Panjang sendi plastis lo harus diambil yang terkecil dari nilai berikut :

$$\text{➤ } L/6 = 3000/6 = 500 \text{ mm}$$

- Dimensi terbesar penampang = 900 mm
- 450 mm

Dari syarat di atas maka $l_o = 900$ mm

Gaya geser desain

$$\begin{aligned} V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 225262,3 \text{ N} - 0,75 \times 1372634,4 \text{ N} \\ &= -804213,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 4 kaki $\phi 13$

$$A_v = 0,25 \times \pi \times \phi^2 \times n = 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 4 = 531 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\phi \times A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\ &= \frac{0,75 \times 531 \times 240 \times 825}{-804213,5} \\ &= -98 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka dipakai jarak $s = 80$ mm

Spasi terkecil, S_o , sengkang pada sendi plastis diambil nilai terkecil dari

- $b/4 = 900/4 = 225$ mm
- $6.d_b = 6.25 = 150$ mm
- $100 + \left(\frac{100}{h_x}\right) = 142$ mm
- 150 mm

Maka S_o yang diambil adalah 142 mm

Syarat :

$$S_{\text{pasang}} < S_o$$

$$80 \text{ mm} < 142 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Luasan tulangan sengkang yang dipasang harus lebih besar dari nilai berikut

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0,3 \frac{s.b_c.f_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \\ &= 0,3 \frac{80 \times 900 \times 35}{240} \left[\frac{900 \times 900}{\left(900 - 50 - \frac{25}{2}\right)^2} - 1 \right] \end{aligned}$$

$$= 439 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0,3 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \frac{80 \times 900 \times 35}{240} \\ &= 495,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas sengkang minimum menentukan $A_{sh} = 495,8 \text{ mm}^2$

Cek syarat :

$$\begin{aligned} A_{v, \text{pasang}} &> A_{sh} \\ 531 \text{ mm}^2 &> 495,8 \text{ mm}^2 \text{ (**Memenuhi**)} \end{aligned}$$

Gaya geser perlawanan sengkang

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{S} \\ &= \frac{531 \times 240 \times 825}{80} \\ &= 1313253 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser perlawanan total

$$\begin{aligned} \phi (V_s + V_c) &> V_u \\ 0,75 (1313253 + 1372634,4) &> 225262,3 \text{ N} \\ 2014415,8 \text{ N} &> 225262,3 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)} \end{aligned}$$

Maka pada daerah lo dipakai tulangan geser 4 kaki Ø13-80

DAERAH LAPANGAN

$$\begin{aligned} V_{u2} &= \frac{V_u \left(\frac{1}{2} L - l_o \right)}{\frac{1}{2} L} \\ &= \frac{225,3 \left(\frac{1}{2} \times 3 - 0,9 \right)}{\frac{1}{2} \times 3} \\ &= 90,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser desain

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 90104,92 \text{ N} - 0,75 \times 1372634,4 \text{ N}$$

$$= -939370,9 \text{ N}$$

$V_s < 0$, maka dipasang tulangan geser minimum

$$V_{s.min} = \frac{b_w d}{3}$$

$$= \frac{900 \times 825}{3}$$

$$= 247350 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 2 kaki Ø 13

$$A_v = 0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times n = 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 2 = 265 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\emptyset \times A_v \times f_{yt} \times d}{V_s}$$

$$= \frac{0,75 \times 265 \times 240 \times 825}{247350}$$

$$= 212,3 \text{ mm}$$

Maka dipakai jarak $s = 150 \text{ mm}$

Spasi terkecil, S_o , sengkang di luar sendi plastis diambil nilai terkecil dari

$$\triangleright 6.d_b = 6.25 = 150 \text{ mm}$$

$$\triangleright 150 \text{ mm}$$

Maka S_o yang diambil adalah 150 mm

Syarat :

$$S_{pasang} \leq S_o$$

$$150 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{S}$$

$$= \frac{265 \times 240 \times 825}{150}$$

$$= 350200,9 \text{ N}$$

Gaya geser perlawanan total

$$\emptyset (V_s + V_c) > V_u$$

$$0,75 (350200,9 + 1372634,4) > 90104,9 \text{ N}$$

$$1292126,5 \text{ N} > 90104,9 \text{ N} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Maka pada daerah di luar lo dipakai tulangan geser 2 kaki Ø13-150

4.3.2.6.3 Kontrol *strong column weak beam*(SCWB)

Struktur yang didesain menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus harus didesain agar kolom lebih kuat dari pada balok. Hal ini dibutuhkan agar balok lebih dahulu runtuh dari pada kolom.

Momen nominal kolom didapat dari pca Column sebagai berikut

16	5946.0	119.0	179.0	1649.3	2480.9	13.860
17	7647.0	146.0	445.0	1026.0	3127.2	7.027
18	5117.0	302.0	34.0	3010.2	338.9	9.967
19	8477.0	328.0	300.0	2335.7	2136.3	7.121
20	5117.0	302.0	34.0	3010.2	338.9	9.967
21	8477.0	328.0	300.0	2335.7	2136.3	7.121
22	3579.0	3.0	51.0	159.0	2703.0	52.999
23	3616.0	4.0	59.0	183.5	2706.8	45.879
24	1503.0	313.0	118.0	1968.2	742.0	6.288

Gambar 4.23 Output momen nominal kolom K1 atas as 6-A

27	5373.0	93.0	40.0	2719.7	1169.8	29.244
28	2602.0	42.0	120.0	795.4	2272.4	18.937
29	4462.0	41.0	86.0	1202.2	2521.8	29.323
30	2602.0	42.0	120.0	795.4	2272.4	18.937
31	4462.0	41.0	86.0	1202.2	2521.8	29.323
32	1691.0	111.0	159.0	1246.4	1785.4	11.229
33	9460.0	93.0	86.0	2352.6	2175.5	25.296

Gambar 4.24 Output momen nominal kolom K1 bawah as 6-A

Catatan : Momen nominal output pcaColumn adalah M_n dngan faktor reduksi $\Phi = 1$

M_{nc} atas = 742 kNm

M_{nc} bawah = 1785,4 kNm

$\sum M_{nc} = 2527,4$ kNm

Momen yang mungkin terjadi pada balok

As pasang = 7D22 , $A_s = 2660,9$ mm²

As' pasang = 4D22 , $A_{s'} = 1520,5$ mm²

M_{n1}

$$a = \frac{A_{s_{pasang}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2660,9 \times 400}{0,85 \times f_c' \times 400} \\
&= 104,4 \text{ mm} \\
M_{n1} &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
&= 2660,9 \times 499 \left(639 - \frac{104,4}{2} \right) \\
&= 624599775,9 \text{ Nmm} \\
M_{n2} &= \frac{A_s'_{\text{pasang}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
&= \frac{1520,5 \times 400}{0,85 \times f_c' \times 400} \\
&= 59,6 \text{ mm} \\
M_{n2} &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
&= 1520,5 \times 400 \left(639 - \frac{59,6}{2} \right) \\
&= 370514240,3 \text{ Nmm} \\
\sum M_{nb} &= M_{n1} + M_{n2} \\
&= 624599775,9 \text{ Nmm} + 370514240,3 \text{ Nmm} \\
&= 995114016,2 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Cek syarat strong column weak beam

$$\begin{aligned}
&\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb} \\
2527400000 \text{ Nmm} &> 1,2 \times 995114016,2 \text{ Nmm} \\
2527400000 \text{ Nmm} &> 1194136819 \text{ Nmm} \quad (\text{Memenuhi})
\end{aligned}$$

4.3.2.6.4 Kontrol Hubungan balok kolom (HBK)

Hubungan balok kolom perlu dicek untuk memenuhi syarat kekuatan join pada sistem rangka pemikul momen khusus.

Lebar join efektif diambil yang terkecil dari nilai berikut:

- B.balok + h.kolom = 400 + 900 = 1300 mm
- B.balok + 2x = 400 + 2(250) = 900 mm
(x adalah jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok kesisi kolom = (h.kolom-b.balok)/2 = (900-400)/2 = 250 mm)

Maka $b_{\text{efektif}} = 900 \text{ mm}$

$$A_j = h_{\text{kolom}} \times b_{\text{efektif}} = 900 \times 900 = 810000 \text{ mm}^2$$

Untuk join terkekang oleh balok pada tiga muka

$$V_n = 1,2\sqrt{f_c}A_j = 1,2 \times \sqrt{35} \times 810000 = 5750429,5 \text{ N}$$

Cek syarat

$$V_n > V_{u \text{ joint}}$$

$$5750429,5 \text{ N} > 225262,3 \text{ N (memenuhi)}$$

4.3.2.6.5 Perhitungan panjang penyaluran

- Panjang penyaluran tulangan kolom

Properti

As perlu	= 7429,5 mm ²	Ψ_s	= 1
As pasang	= 9817,5 mm ²	Ψ_e	= 1
db	= 25 mm	Ψ_t	= 1
Fc	= 35 Mpa	λ	= 1
fy	= 400 Mpa	Cover	= 50 mm

Perhitungan

Nilai C_b diambil yang terkecil dari nilai di bawah ini :

$$\begin{aligned} C_b &= \text{cover} + \emptyset_{\text{geser}} + \emptyset_{\text{lentur}}/2 \\ &= 50 + 13 + 25/2 \\ &= 75,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{b - 2(\text{cover} \times \emptyset_{\text{geser}} \times \frac{\emptyset_{\text{lentur}}}{2})}{2} < 2,5 \\ &= \frac{900 - 2(50 \times 13 \times \frac{25}{2})}{2} < 2,5 \\ &= 377,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai $C_b = 75,5 \text{ mm}$

$$\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} < 2,5$$

$$\frac{75,5 + 0}{25} < 2,5$$

$2,9 > 2,5$, maka dipakai 2,5

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

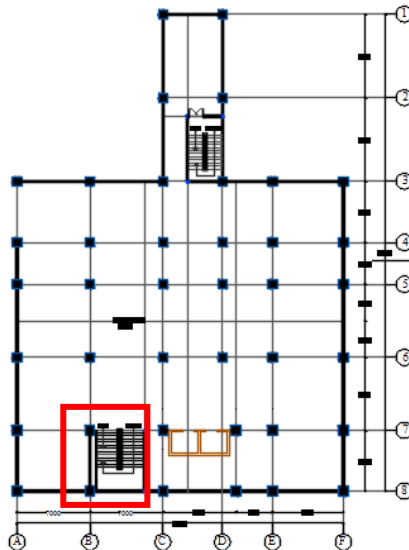
$$= \left(\frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1 \times 1 \times 1}{2,5} \right) 25$$

$$= 799,05 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran kolom $l_d = 800 \text{ mm}$

4.3.2.7 Perhitungan Tulangan Tangga

Perhitungan penulangan tangga ini menggunakan tangga tipe 1. Data-data perencanaan dan perhitungan penulangan tangga tipe 1 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.25 Denah tangga tinjau

Data perencanaan :

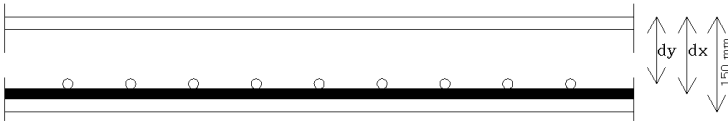
Tipe pelat = Pelat tangga

As pelat = B-C ; 7-8

Mutu beton (f_c')	= 30 Mpa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
β	= 0,85
Tebal pelat	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 20 mm
Diameter tulangan lentur	= 16 mm
Diameter tulangan susut	= 10 mm

Data output ETABS

Tangga	: M11 = 2493,4 kgm
	: M22 = 5599,2 kgm



Tebal manfaat pelat :

$$\begin{aligned} D_x &= \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \varnothing \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 16 \text{ mm} \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_y &= \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 16 \text{ mm} \\ &= 106 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan minimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,0057$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

Penulangan Pelat tangga arah X

$$M_u = 2493,4 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{2493,4 \cdot 106}{0,9} = 2770444,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{2770444,4}{1000 \times 106^2} = 2,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 2,4}{400}} \right]$$

$$= 0,0064$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0034 < 0,0064 < 0,0325 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0064 \cdot 1000 \cdot 106 \\ &= 688,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan Ø13-150

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{} \textbf{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (13)^2 \cdot (1000)}{150} \\ &= 884,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : $A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$

$$884,8 \text{ mm}^2 > 688,4 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Penulangan Pelat tangga arah Y

$$M_u = 5599,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{5599,2 \cdot 10^6}{0,9} = 62213333,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{62213333,3}{1000 \times 122^2} = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 4,1}{400}} \right]$$

$$= 0,011$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0034 < 0,011 < 0,0325 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,011 \cdot 1000 \cdot 122 \\ &= 1401 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan Ø16-100

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{} \textbf{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (16)^2 \cdot (1000)}{100} \\ &= 1608,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : $A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$

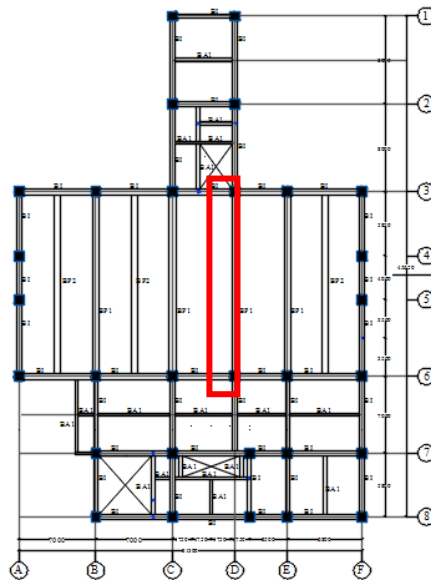
$$1608,4 \text{ mm}^2 > 1401 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

4.4.2.8 Desain Balok Pratekan

Balok pratekan : BP(50/80) As B(6-7) elevasi +49,00.

Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah balok,

hasil output ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, detail perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



Gambar 4.26 Denah balok pratekan tinjau

Data-data perencanaan Balok pratekan:

Tipe Balok	= BP
As sloof	= D(3-6)
Bentang balok(L balok)	= 16850 mm
Dimensi balok (b balok)	= 500 mm
Dimensi balok (h balok)	= 800 mm
Kuat tekan beton balok (f_c')	= 40 Mpa
Kuat tekan beton plat (f_c')	= 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur tul.lunak (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm

Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	= 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	= 25 mm
Tebal selimut (t decking)	= 50 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ)	= 0,75

4.3.2.8.1 Perhitungan Tendon

Dimensi balok penampang T

Menentukan lebar sayap efektif

Diambil yang terkecil dari nilai berikut :

$$b_{e1} = 0,25L_n = 0,25 \times (16850 - 700) = 4212,5 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 2(8t_p) = 500 \times (8 \times 120) = 1460 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = b_w + 0,5(L_{x1} + L_{x2}) = 500 \times 0,5(5200 + 4300) = 5250 \text{ mm}$$

Dari nilai di atas maka b efektif = 1460 mm

$$E_c \text{ plat} = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{30} = 25742 \text{ Mpa}$$

$$E_c \text{ balok} = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{40} = 29725,4 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_c \text{ balok}}{E_c \text{ plat}} = \frac{29725,4 \text{ Mpa}}{25742 \text{ Mpa}} = 1,154$$

maka b efektif penampang T menjadi :

$$b_e \text{ pakai} = \frac{b_e}{n} = \frac{1460 \text{ mm}}{1,154} = 1264,3 \text{ mm}$$

Garis netral penampang setelah komposit

$$A_{\text{plat}} = t_p \times b_e = 120 \times 1264,3 = 151727,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{balok}} = b(h - t_p) = 500(800 - 120) = 340000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{plat}} + A_{\text{balok}} = 151727,6 + 340000 = 491727,6 \text{ mm}^2$$

$$Y_t = \frac{A_{\text{balok}} \times y + A_{\text{plat}} \times y}{A_{\text{total}}} = \frac{340000 \times 460 + 151727,6 \times 60}{491727,6} = 336,5 \text{ mm}$$

$$Y_b = h - Y_t = 800 - 336,5 = 463,4 \text{ mm}$$

$$d_t = Y_t - t_p/2 = 336,5 - 120/2 = 276,5 \text{ mm}$$

$$d_b = Y_b - h_b/2 = 463,4 - (800 - 120)/2 = 123,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 + A_{\text{balok}} \times d_b^2 + \frac{1}{12} \times b_e \times t_p^3 + A_{\text{plat}} \times d_t^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 500 \times 680^3 + 340000 \times 123,4^2 + \frac{1}{12} \times 1264,4 \times 120^3 + 151727,6 \times 276,5^2 \\
 &= 30069088971 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$W_t = I_c / Y_t = 30069088971 / 336,5 = 89338221 \text{ mm}^3$$

$$W_b = I_c / Y_b = 30069088971 / 463,4 = 64884598,4 \text{ mm}^3$$

$$K_t = W_b / A_{\text{total}} = 64884598,4 / 491727,6 = 131,9 \text{ mm}$$

$$K_b = W_t / A_{\text{total}} = 89338221 / 491727,6 = 181,6 \text{ mm}$$

Tegangan izin balok

Tegangan beton sebelum keras diambil curing 14 hari

$$f_{ci} = 0,88 \times f_c = 0,88 \times 40 \text{ Mpa} = 35,2 \text{ Mpa}$$

Tegangan izin segera saat perlaihan (belum ada kehilangan)

Teg.tekan

$$\sigma_{tk} = 0,6 \times f_{ci} = 0,6 \times 35,2 \text{ Mpa} = 21,1 \text{ Mpa}$$

Teg. tarik

$$\sigma_{tr} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,25 \times \sqrt{35,2} = 1,48 \text{ Mpa}$$

Tegangan izin setelah perlaihan (sudah ada kehilangan)

Teg. tekan akibat beban tetap

$$\sigma_{tk} = 0,45 \times f_c = 0,45 \times 40 \text{ Mpa} = 21,1 \text{ Mpa}$$

Teg. tekan akibat beban total

$$\sigma_{tk} = 0,6 \times f_c = 0,25 \times 40 = 24 \text{ Mpa}$$

Teg. tarik

$$\sigma_{tr} = 0,62 \times \sqrt{f_c} = 0,25 \times \sqrt{40} = 3,92 \text{ Mpa}$$

Analisa gaya pratekan

Beban saat servis

Beban mati

$$\text{Pelat (t=12 cm)} = 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal} = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon} = 1,49 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penggantung} = 8 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Instalasi listrik} = 40 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pipa} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Total} = 390,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{trap.kiri}} &= \frac{1}{6} q_D \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{6} \times 390,4 \times 5,7 \left\{ 3 - \left(\frac{5,7}{16,85} \right)^2 \right\} \\
 &= 1070,45 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{trap.kanan}} &= \frac{1}{6} q_D \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{6} \times 390,4 \times 4,8 \left\{ 3 - \left(\frac{4,8}{16,85} \right)^2 \right\} \\
 &= 911,8 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$q_{\text{balok}} = 0,68 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 816 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_d \text{ total} &= q_{d.\text{trap kiri}} + q_{d.\text{trap kanan}} + q_{\text{balok}} \\
 &= 1070,45 \text{ kg/m} + 911,8 \text{ kg/m} + 816 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 2798,27 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban hidup

$$q_l = 96 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{trap.kiri}} &= \frac{1}{6} q_l \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{6} \times 96 \times 5,7 \left\{ 3 - \left(\frac{5,7}{16,85} \right)^2 \right\} \\
 &= 263,1 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{trap.kanan}} &= \frac{1}{6} q_l \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{6} \times 96 \times 4,8 \left\{ 3 - \left(\frac{4,8}{16,85} \right)^2 \right\} \\
 &= 224,1 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_l \text{ total} &= q_{d.\text{trap kiri}} + q_{d.\text{trap kanan}} \\
 &= 263,1 \text{ kg/m} + 224,1 \text{ kg/m} \\
 &= 487,3 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi untuk gaya desain tendon $U = D + L$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= q_d \text{ total} + q_l \text{ total} \\
 &= 2798,27 \text{ kg/m} + 487,3 \text{ kg/m} \\
 &= 3285,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{max lap}} = 1/24 \times Q_u \times L^2 = 1/24 \times 3285,6 \times 16,85^2 = 38869 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{max tump}} = 1/12 \times Q_u \times L^2 = 1/12 \times 3285,6 \times 16,85^2 = 77738,1 \text{ kgm}$$

Beban saat transfer

Beban mati

$$\text{Balok} = 0,68 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 816 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat (t=12 cm)} = 0,12 \times 1,46 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 420,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total} = 1236,4 \text{ kg/m}$$

Kombinasi untuk gaya desain tendon $U = D$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= q_d \\
 &= 1236,4 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{max lap}} = 1/24 \times Q_u \times L^2 = 1/24 \times 1236,4 \times 16,85^2 = 14627,7 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{max tump}} = 1/12 \times Q_u \times L^2 = 1/12 \times 1236,4 \times 16,85^2 = 29255,4 \text{ kgm}$$

Desain pendahuluan untuk gaya pratanggang awal

Tegangan saat transfer

Serat atas

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tr} &> -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\
 1,48 &> -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{89338221} - \frac{14627,7 \times 10^4}{89338221}
 \end{aligned}$$

$$F_o < 2199644 \text{ N}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tk} &> -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\
 21,1 &> -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{64884598,4} - \frac{14627,7 \times 10^4}{64884598,4}
 \end{aligned}$$

$$F_o < -3443961,7 \text{ N}$$

Tegangan saat beban layan

Serat atas

$$\sigma_{tr} > -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$3,92 > -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{89338221} - \frac{38869 \times 10^4}{89338221}$$

$$F_o < 5830794,6 \text{ N}$$

Serat bawah

$$\sigma_{tk} > -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$24 > -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{64884598,4} - \frac{38869 \times 10^4}{64884598,4}$$

$$F_o < -4418766,4 \text{ N}$$

Dari kondisi beban saat transfer dan beban layan diambil gaya yang paling minimum $F_o < 2199644 \text{ N}$, maka diambil

$$F_o = 2000000 \text{ N} = 2000 \text{ kN}$$

Penentuan jumlah strand

Untuk strand tendon yang dipakai diambil spesifikasi sebagai berikut :

Tipe = 7 wire uncoated ASTM A416

Diameter = 12,7 mm

Luas kawat = 100,1 mm

Min breaking load = 184 kN

Tegangan izin baja prategang

$$f_{pu} = \frac{\text{min breaking load}}{A_s} = \frac{184000}{100,1} = 1838,1 \text{ Mpa}$$

Tegangan diambil paling minimum dari :

$$f_{py} = 0,9f_{pu} = 0,9 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

maka

$$1) 0,94 \times f_{py} = 0,94 \times 1654,3 \text{ Mpa} = 1555 \text{ Mpa}$$

$$2) 0,8 \times f_{pu} = 0,8 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1470,5 \text{ Mpa}$$

$$3) 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1286,7 \text{ Mpa}$$

Tegangan tendon menentukan adalah 1286,7 Mpa

Luas tendon perlu

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{st}} = \frac{2000000}{1286,7} = 1554,3 \text{ mm}^2$$

Jumlah strand

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1554,3}{100,1} = 16 \text{ buah}$$

Kehilangan gaya pratekan

Kehilangan langsung

Perpendekan elastis

Tendon yang terpasang berjumlah satu buah sehingga hanya terjadi sekali penarikan. Sehingga kehilangan akibat perpendekan elastis sama dengan nol

$$\Delta f_{pES} = 0$$

Wobble effect

$$\alpha = \frac{8 \times f}{L} = \frac{8 \times 308,4}{16850} = 0,146 \text{ rad}$$

$$f_1 = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{2000000}{1554,3} = 1286,7 \text{ Mpa}$$

Untuk kawat 7 untai

$$K = 0,0016$$

$$\mu = 0,15$$

$$\Delta f_{pF} = f_1 (1 - e^{-(\mu \alpha + KL)})$$

$$= 1286,7 (1 - e^{-(0,15 \times 0,146 + 0,0016 \times 16850)})$$

$$= 61,4 \text{ Mpa}$$

Presentase kehilangan akibat wobble effect

$$\% = \frac{\Delta f_{pF}}{\sigma_{izin}} = \frac{61,4}{1286,7} \times 100\% = 4,77 \%$$

Slip ankur

Besarnya kehilangan akibat slip ankur dihitung dengan cara berikut :

$$E_{ps} = 196500,6 \text{ Mpa}$$

$$g = 0,8 \text{ mm}$$

$$f_{pi} = 1286,7 \text{ Mpa}$$

$$X = \sqrt{\frac{E_{ps} \times g}{f_1 \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2}$$

$$= \sqrt{\frac{196500,6 \times 0,8}{1286,7 \left(\frac{0,15 \times 0,146}{16850} + 0,0000016 \right)}} < \frac{16850}{2}$$

$$= 6486,6 \text{ mm} < 8425 \text{ mm (*Memenuhi*)}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pA} &= 2 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) X \\ &= 2 \times \left(\frac{0,15 \times 0,1709}{16850} + 0,0000016 \right) 6486,6 \\ &= 48,4 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Presentase kehilangan akibat slip angkur

$$\% = \frac{\Delta f_{pA}}{\sigma_{izin}} = \frac{48,4}{1286,7} \times 100\% = 3,77 \%$$

Kekangan kolom

$$L_k = 4300 \text{ mm}$$

$$L_b = 16850 \text{ mm}$$

$$I_k = 20008333333 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 30069088971 \text{ mm}^4$$

$$k = \frac{L_k \times I_b}{L_b \times I_k} = \frac{4300 \times 30069088971}{16850 \times 20008333333} = 0,38$$

$$\text{Displacement node A} = 0,118 \text{ mm}$$

$$\text{Displacement node B} = 0,644 \text{ mm}$$

$$\Delta_{AB} = 0,526 \text{ mm}$$

$$\xi_{bb} = \frac{\Delta_{AB}}{L} = \frac{0,526}{4300} = 0,00012$$

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3 \times (k+1)}{k \times (k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= \frac{3 \times (0,38+1)}{0,38 \times (0,38+2)} \times \frac{29725 \times 30069088971}{4300} \times 0,00012 \\ &= 115453146 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_B = \frac{3}{(k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb}$$

$$= \frac{3}{(0,38+2)} \times \frac{29725 \times 30069088971}{4300} \times 0,00024$$

$$= 32003762 \text{ Nmm}$$

Distribusi momen akibat beban merata

$$M_A = \frac{1}{(k+2)} \times \frac{w \times L_b^2}{12}$$

$$= \frac{1}{(0,38+2)} \times \frac{12,36 \times 16850^2}{12}$$

$$= 122740669 \text{ Nmm}$$

$$M_A = \frac{-2}{(k+2)} \times \frac{w \times L_b^2}{12}$$

$$= \frac{1}{(0,38+2)} \times \frac{12,36 \times 16850^2}{12}$$

$$= -245481338 \text{ Nmm}$$

Distribusi momen akibat eksentrisitas

$$M_p = F_o \times e = 2000000 \times 308,4 = 616848271,4 \text{ Nmm}$$

$$M_A = \frac{1}{(k+2)} \times M_p$$

$$= \frac{1}{(0,38+2)} \times 616848271,4$$

$$= 258798156,5 \text{ Nmm}$$

$$M_b = -2 \times M_a = -2 \times 258798156,5 = -517596313 \text{ Nmm}$$

Kehilangan kekangan kolom

Akibat perpendekan kolom

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_b} = \frac{115453146 - 32003762}{16850} = 4952 \text{ N}$$

Akibat beban merata

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_b} = \frac{122740669 - (-245481338)}{16850} = 21853 \text{ N}$$

Akibat eksentrisitas

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_b} = \frac{258798157 - (-517596313)}{16850} = 46077 \text{ N}$$

Total kehilangan akibat kekangan kolom

$$\Delta f_{pR} = \frac{4952+21853+46077}{1554,3} = 46,8 \text{ Mpa}$$

Presentase kehilangan akibat kekangan kolom

$$\% = \frac{\Delta f_{pR}}{\sigma_{izin}} = \frac{46,8}{1286,7} \times 100\% = 3,64 \%$$

Total kehilangan tegangan langsung

$$\begin{aligned} \%_{total} &= \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pA} + \Delta f_{pR} \\ &= 0\% + 4,77\% + 3,77\% + 3,64\% \\ &= 12,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan sisa} &= \sigma_{izin} \times (100\% - \%_{kehilangan total}) \\ &= 1286,7 \text{ Mpa} \times (100\% - 12,9\%) \\ &= 1129,9 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kehilangan gaya pratekan tidak langsung

TAHAP I

Relaksasi baja

$$f_{pi} = 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1286,7 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 0,9 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

sehingga

$$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1286,7}{1654,3} = 0,77 < 0,55$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pR} &= f_{pi} \left(\frac{\text{Log} t_1 - \text{Log} t_2}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1286,7 \left(\frac{\text{Log} 18}{45} \right) (0,77 - 0,55) \\ &= 8,1 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Total kehilangan Tahap I

$$f_{pT} = \Delta f_{pR} = 8,1 \text{ Mpa}$$

Tegangan akhir Tahap I

$$f_{pe} = f_i - f_{pT} = 1129,9 - 8,1 = 1121,7 \text{ Mpa}$$

TAHAP II

Akibat Relaksasi baja

$$f_{ps} = f_i - f_{pT} = 1121,7 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

sehingga

$$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1121,7}{1654,3} = 0,67 < 0,55$$

Terjadi saat penambahan beban mati tambahan 30 hari

$$\begin{aligned} \Delta f_{pR} &= f_{pi} \left(\frac{\text{Log} t_1 - \text{Log} t_2}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1121,7 \left(\frac{\text{Log}(30 \times 24) - \text{Log} 18}{45} \right) (0,67 - 0,55) \\ &= 5,11 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Akibat Susut

Luas penampang

$$S_1 = 2 \times b_e \times L_b = 2 \times 1460 \times 16850 = 49202000 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 2 \times h_b \times L_b = 2 \times 800 \times 16850 = 26960000 \text{ mm}^2$$

Volume penampang

$$\begin{aligned} V &= (t_p \times b_e + h_b \times b_b) L_b \\ &= (120 \times 1460 + 680 \times 500) 16850 \\ &= 8681120000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$K_{sh} = 0,58$$

$$E_{ps} = 196500,6$$

$$RH = 80\%$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pSH} &= 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_{ps} \left(1 - 0,0236 \frac{V}{S} \right) (100 - RH) \\ &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,58 \times 196500,6 \left(1 - 0,0236 \frac{8681120000}{76162000} \right) (100 - 80) \\ &= 31,6 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kehilangan akibat rangkai

$$K_{cr} = 1,6$$

$$n = E_{ps} / E_c = 196500,6 / 29725,4 = 6,6$$

Momen akibat beban mati

$$M_d = 14627,7 \text{ kgm (Momen akibat beban balok saja)}$$

$$q_s = 102,4 \text{ kg/m}^2 \text{ (beban mati tambahan)}$$

$$q_{\text{trap.kiri}} = \frac{1}{6} q_s \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\}$$

$$= \frac{1}{6} \times 102,4 \times 5,7 \left\{ 3 - \left(\frac{5,7}{16,85} \right)^2 \right\}$$

$$= 280,9 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{trap.kanan}} = \frac{1}{6} q_s \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\}$$

$$= \frac{1}{6} \times 102,4 \times 4,8 \left\{ 3 - \left(\frac{4,8}{16,85} \right)^2 \right\}$$

$$= 239,3 \text{ kg/m}$$

$$Q_s \text{ total} = q_{\text{d.trap kiri}} + q_{\text{d.trap kanan}}$$

$$= 280,9 \text{ kg/m} + 239,3 \text{ kg/m}$$

$$= 520,2 \text{ kg/m}$$

$$M_s = 1/12 \times Q_s \times L^2 = 1/12 \times 520,2 \times 16,85^2 = 12309,9 \text{ kgm}$$

Tegangan akibat beban mati

$$f_{ci} = -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e^2}{I_c} + \frac{M_d \times e}{I_c}$$

$$= -\frac{1809676,5}{491727,6} - \frac{1809676,5 \times 308,4^2}{30069088971} + \frac{14627,7 \times 10^4 \times 308,4}{30069088971}$$

$$= 7,9 \text{ Mpa}$$

$$f_{cd} = \frac{M_s \times e}{I_c} = \frac{12309,9 \times 360}{36533143474} = 1,21 \text{ Mpa}$$

$$\Delta f_{pC} = n \times K_{cr} (f_{ci} - f_{cd})$$

$$= 6,6 \times 1,6 (7,9 - 1,2)$$

$$= 70,2 \text{ Mpa}$$

Total kehilangan pada Tahap II

$$f_{pT} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH}$$

$$= 5,14 + 70,2 + 31,6$$

$$= 107 \text{ Mpa}$$

Peningkatan tegangan akibat penambahan beban

$$f_{sd} = n \times f_{csd} = 6,6 \times 1,21 = 8,3 \text{ Mpa}$$

Tegangan akhir pada Tahap II

$$f_{pe} = f_{ps} - f_{pt} + f_{sd} = 1121,7 - 107 + 8,3 = 1023,1 \text{ Mpa}$$

TAHAP III

Relaksasi baja

$$f_{pi} = 1023,1 \text{ Mpa}$$

$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 1654,3 \text{ Mpa}$

sehingga

$\frac{f_{ps}}{f_{py}} = \frac{1023,1}{1654,3} = 0,62 < 0,55$

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left(\frac{\text{Log}t_1 - \text{Log}t_2}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1023,1 \left(\frac{\text{Log}(720 \times 24) - \text{Log}(30 \times 24)}{45} \right) (0,62 - 0,55)$$

$$= 2,15 \text{ Mpa}$$

Total kehilangan prategang pada Tahap III

$f_{pT} = f_{pR} = 2,15 \text{ Mpa}$

Tegangan akhir pada Tahap III

$f_{pe} = f_{ps} - f_{pR} = 1024,1 - 2,15 = 1020,9 \text{ Mpa}$

Total kehilangan prategang dari semua tahap dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.18 Kehilangan gaya prategang pada tiap tahap

Level tegangan tiap tahap	Tegangan baja	Persen
	Mpa	%
Tegangan efektif		
Sesudah penarikan 0,7 fpu	1286,7	100%
Kehilangan langsung		
kehilangan perpedekan elastis	0	0
Kehilangan angker slip	48,47	3,8%
Kehilangan wobble effect	61,44	4,8%
Kehilangan Kekangan kolom	46,89	3,6%
Kehilangan tak langsung		
Kehilangan rangkak	70,25	5,5%
Kehilangan susut	31,59	2,5%
Kehilangan relaksasi baja	15,44	1,2%
Total kehilangan	274,07	21,3%
Penambahan		

Penambahan overtopping	8,35	0,6%
<i>Total penambahan</i>	8,35	0,6%
Tegangan efektif	1020,99	79,3%

Kontrol tegangan setelah kehilangan

$$f_e = 1020,9 \text{ Mpa}$$

$$\text{Jumlah strand} = 16 \text{ buah}$$

$$\text{Luasan kawat} = 100,1 \text{ mm}^2$$

$$F \text{ efektif} = 1635210,2 \text{ N}$$

Tegangan pada lapangan

Serat atas

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 308,4}{89338221} - \frac{388690278,6}{89338221} \\ &= -2 \text{ Mpa} < -24 \text{ Mpa (*Memenuhi*)} \end{aligned}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned} \sigma_{tk} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 308,4}{64884598,4} - \frac{388690278,6}{64884598,4} \\ &= -5,1 \text{ Mpa} < -24 \text{ Mpa (*Memenuhi*)} \end{aligned}$$

Tegangan pada tumpuan

Serat atas

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 110}{89338221} - \frac{777380557,2}{89338221} \\ &= 3,4 \text{ Mpa} < 3,9 \text{ Mpa (*Memenuhi*)} \end{aligned}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned} \sigma_{tk} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 110}{64884598,4} - \frac{777380557,2}{64884598,4} \end{aligned}$$

$$= -12,5 \text{ Mpa} < -24 \text{ Mpa} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Cek daerah limit kabel

$$a_{\max} = \frac{M_t}{F_e} = \frac{388690278,6}{1635210,2} = 237,7 \text{ mm}$$

Syarat

$$a_{\max} < (Y_b + k_t - d')$$

$$237,7 < (463 + 132 - 65)$$

$$237,7 \text{ mm} < 530,9 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

$$a_{\min} = \frac{M_d}{F_o} = \frac{146276872}{2000000} = 73,1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih syarat} &= a_{\min} - (Y_b - k_b - d') \\ &= 73,1 - (463 - 182 - 65) \\ &= -144 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga

e lapangan

$$a_{\max} - k_t < e_{\text{lapangan}} < k_b + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

$$237,7 - 132 < 308,4 < 182 + 73,1 - (-144)$$

$$106 \text{ mm} < 308,4 \text{ mm} < 398,9 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

e tumpuan

$$e_{\text{tumpuan}} < k_t$$

$$110 \text{ mm} < 131,9 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Momen retak

$$\begin{aligned} M_{cr} &= F_e \times k_t + F_e \times e + f_r \times W_b \\ &= 1635210,2 \times 132 + 1635210,2 \times 308,4 + 3,9 \times 64884598,5 \\ &= 974535139,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Lendutan

$$\Delta_{izin} = \frac{L}{480} = \frac{16850}{480} = 35,1 \text{ mm}$$

Lendutan awal jacking

Akibat tekanan tendon

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{L^2} = \frac{8 \times 2000000 \times 308,4}{16850^2} = 17,3 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 17,3 \times 16850^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = -28,7 \text{ mm } (\uparrow)$$

Akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_o \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} = \frac{2000000 \times 110 \times 16850^2}{8 \times 29725,4 \times 21333333333} = 12,3 \text{ mm } (\downarrow)$$

Akibat berat sendiri balok

$$\Delta l_{qo} = \frac{5 \times q_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 12,3 \times 16850^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = 20,4 \text{ mm } (\downarrow)$$

Total lendutan saat transfer

$$\Delta l_{tr} = \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo} = -28,7 + 12,3 + 20,4 = 4,01 \text{ mm } (\downarrow)$$

Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta_{tr}$$

$$35,1 \text{ mm} > 4,01 \text{ mm } (\text{Memenuhi})$$

Lendutan saat servis

Akibat tekanan tendon

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{L^2} = \frac{8 \times 1635210,2 \times 308,4}{16850^2} = 14,2 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 14,2 \times 16850^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = -23,5 \text{ mm } (\uparrow)$$

Akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_e \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} = \frac{1635210,2 \times 110 \times 16850^2}{8 \times 29725,4 \times 21333333333} = 10,07 \text{ mm } (\downarrow)$$

Akibat berat sendiri balok, plat, dan beban tambahan

$$\Delta l_{qo} = \frac{5 \times q_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 27,98 \times 16850^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = 46,3 \text{ mm } (\downarrow)$$

Total lendutan saat servis

$$\Delta l_{tr} = \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo} = -23,5 + 10,07 + 46,3 = 32,8 \text{ mm } (\downarrow)$$

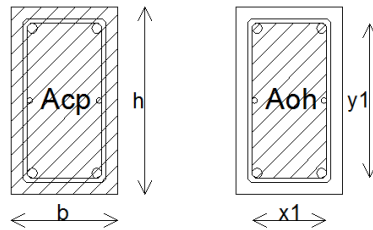
Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta_{tr}$$

$$35,1 \text{ mm} > 32,8 \text{ mm } (\text{Memenuhi})$$

4.3.2.8.2 Perhitungan Tulangan Puntir

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser lentur dan puntir



Gambar 4.27 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\
 &= 500 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \\
 &= 400000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\
 &= 2 \times (500 \text{ mm} + 800 \text{ mm}) \\
 &= 2600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\
 &= (500 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (800 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 269100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\
 &= 2 \times [(500 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (800 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 2100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

$$\begin{aligned}
 \text{Akibat kombinasi} &= \text{Envelope} \\
 T_u &= 102733900 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{102733900 \text{ Nmm}}{0,75} \\
 T_n &= 136978533,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Geser ultimate

$$V_u = 343491,9 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$\begin{aligned} T_{u \min} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{40} \left(\frac{400000^2}{2600} \right)}{12} \\ &= 24325212,7 \text{ Nmm} \\ T_{u \max} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{40} \left(\frac{400000^2}{2600} \right)}{3} \\ &= 97300851 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$

$24325212,7 \text{ Nmm} < 102733900 \text{ Nmm} \rightarrow$ **memerlukan tulangan puntir**

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 \cdot A_{oh}} \right)^2} &\leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1 \sqrt{f_c'}}{6} \right) + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3}} \\ \sqrt{\left(\frac{102733900}{500.727} \right)^2 + \left(\frac{102733900 \cdot 2100}{1,7 \cdot 269100} \right)^2} &\leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1 \sqrt{40}}{6} \right) + \frac{2 \sqrt{40}}{3}} \end{aligned}$$

$0,94 \leq 3,29 \dots$ **Memenuhi**

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 269100 \text{ mm}^2 \\ &= 228735 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{136978533,3}{2 \times 228735 \times 240 \times \cot 45} \\
 &= 1,24 \\
 I_t &= \frac{A_t}{s} \cdot Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\
 I_t &= 1,24 \times 2100 \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45 \\
 I_t &= 1571,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &\geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}} \\
 1,24 &\geq \frac{0,175 \times 400}{240}
 \end{aligned}$$

$$1,24 \geq 0,291$$

Maka A_t/s dipakai = 1,24

$$\begin{aligned}
 I_{t \min} &= \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y} \\
 I_{t \min} &= \frac{5 \times 400000 \sqrt{40}}{12 \times 400} - 1,24 \times 2100 \times \frac{240}{400} \\
 I_{t \min} &= 1063,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$I_{t \text{ perlu}} \leq I_{t \min}$ maka gunakan $I_{t \min}$

$I_{t \text{ perlu}} \geq I_{t \min}$ maka gunakan $I_{t \text{ perlu}}$

$I_{t \text{ perlu}} > I_{t \min}$

$1571,9 \text{ mm}^2 < 1063,2 \text{ mm}^2 \rightarrow$ maka gunakan $I_{t \min}$

Maka tulangan torsi perlu sebesar $1571,9 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada panampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1571,9 \text{ mm}^2}{4} = 393 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar $= 393 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{1571,9 \text{ mm}^2}{4} = 785,9 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 4D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times 4 \\ &= 804,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$804,2 \text{ mm}^2 \geq 785,9 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 4D16

4.3.2.8.3 Perhitungan Tulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KIRI

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 727,5 \\ &= 437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 437 \text{ mm} \\ &= 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 72,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 400 \cdot 0,77 \cdot 200 \\ &= 2618000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{2618000}{400} \\ &= 6545 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_r}{2} \right) \\ &= 6545 \times 400 \times \left(727,5 - \frac{0,77 \times 200}{2} \right) \\ &= 1703009000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{\text{tumpuan}} = 850686600 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\Phi} \\ &= \frac{850686600 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$M_n = 1063358250 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 1063358250 \text{ Nmm} - 1703009000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$= -639650750 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,004$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0392$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0392 = 0,029$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 12$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{850686600 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 1063358250 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{1063358250}{500 \times 727,5^2} = 4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12 \cdot 4}{400}} \right]$$

$$= 0,01$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,004 < 0,01 < 0,029 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_s &= p \text{ perlu} \times b \times d + \frac{A_l}{4} \\ A_s &= 0,01 \times 500 \times 727,9 + 393 \\ A_s &= 4293 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D25

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}} \\ n &= \frac{4293 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)} \\ n &= 8,7 \approx \text{maka dipakai tulangan 9D25} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 9 \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 4417,8 \text{ mm}^2 &> 4293,1 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{A_l}{4} \\ A_s' &= 393 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{393 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)}$$

$n=0,8 \approx$ maka dipakai tulangan 5D22

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n_{\text{tulangan}} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 5 \\ &= 2454,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$2454,3 \text{ mm}^2 > 393 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 7 buah

lapis 2 = 2 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 5 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (7 \times 25)}{7-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 34,2 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$34,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 63,7 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$63,7 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 9D25 \\ &= 9 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 5D25 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 2454,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq 2208,9 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 9D25$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 5D25$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 9D25 = 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan } 5D25 = 2454,3 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(4417,8 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 500} \right)$$

$$a = 104 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 40 \times 500 \times 104 \\ &= 1767145,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang

$$Mn = Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 1767145,8 \times \left(727,5 - \frac{104}{2} \right)$$

$$Mn = 1207528506 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$Mn \text{ pasang} \geq Mn \text{ perlu}$

$$1207528506 \text{ Nmm} \geq 1063358250 \text{memenuhi}$$

Sehingga untuk daerah tumpuan kiri dipasang tulangan 9D25

DAERAH TUMPUAN KANAN

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 727,5 \\ &= 437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 437 \text{ mm} \\ &= 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 72,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 400 \cdot 0,77 \cdot 200 \\ &= 2618000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{2618000}{400} \\ &= 6545 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_r}{2} \right) \\ &= 6545 \times 400 \times \left(727,5 - \frac{0,77 \times 200}{2} \right) \\ &= 1703009000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 857516100 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{857516100 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$M_n = 1071895125 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1071895125 \text{ Nmm} - 1703009000 \text{ Nmm} \\
 &= -631113875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,004$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0392$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0392 = 0,029$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 12$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{857516100 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 1071895125 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{1071895125}{500 \times 727,5^2} = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12 \cdot 4,1}{400}} \right]$$

$$= 0,01$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,004 < 0,0108 < 0,029 \text{} \textbf{Memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0108 \times 500 \times 727,9 + 393$$

$$A_s = 4327 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{4327 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)}$$

$$n = 8,8 \approx \text{maka dipakai tulangan } 9D25$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 9 \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$4417,8 \text{ mm}^2 > 4327 \text{ mm}^2 \text{} \textbf{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 393 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{As'}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{393 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)}$$

$$n = 0,8 \approx \text{maka dipakai tulangan 5D22}$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$As \text{ pasang} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 5$$

$$= 2454,3 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$2454,3 \text{ mm}^2 > 393 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 7 buah

lapis 2 = 2 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 5 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (7 \times 25)}{7 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 34,2 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$34,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5-1}$$

$$S_{maks} = 63,7 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$63,7 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= 9D25 \\ &= 9 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= 5D25 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 2454,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq 2208,9 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 9D25$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 5D25$$

Cek momen nominal penampang

$$As \text{ tulangan tarik } 9D25 = 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ tulangan tekan } 5D25 = 2454,3 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(A_s \text{ tul. terik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(4417,8 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 500} \right)$$

$$a = 104 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 40 \times 500 \times 104 \\ &= 1767145,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1767145,8 \times \left(727,5 - \frac{104}{2} \right)$$

$$M_n = 1207528506 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$

$$1207528506 \text{ Nmm} \geq 1071895125 \text{memenuhi}$$

Sehingga untuk daerah tumpuan kiri dipasang tulangan 9D25

DAERAH LAPANGAN

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 727,5 \\ &= 437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 437 \text{ mm} \\ &= 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 72,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 400 \cdot 0,77 \cdot 200 \\ &= 2618000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{2618000}{400} \\ &= 6545 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 6545 \times 400 \times \left(727,5 - \frac{0,77 \times 200}{2} \right) \\ &= 1703009000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{\text{ulapangan}} = 562499700 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\Phi} \\ M_n &= \frac{562499700 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$M_n = 703124625 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 703124625 \text{ Nmm} - 1703009000 \text{ Nmm} \\ &= -999884375 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,004$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0392$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0392 = 0,029$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 12$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{562499700 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 703124625 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{703124625}{500 \times 729^2} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12 \cdot 2,7}{400}} \right]$$

$$= 0,0069$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,004 < 0,0069 < 0,029 \text{ (*Memenuhi*)}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0069 \times 500 \times 727,5 + 393$$

$$A_s = 2912 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D22

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{2912 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$$n = 5,9 \approx \text{maka dipakai tulangan 6D25}$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 6 \\ &= 2945,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$2945,2 \text{ mm}^2 > 2912 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 393 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{393 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$n = 0,8 \approx$ maka dipakai tulangan 3D25

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 3 \\ &= 1472,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$1472,6 \text{ mm}^2 > 393 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 1 lapis

lapis 1 = 6 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 3 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (6 \times 25)}{6 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 49,6 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$46 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{\frac{n-1}{3-1}}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 25)}{3-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 152 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur max}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 6D25 \\ &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 2945,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= 3D25 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 1472,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1472,6 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} \times 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$1472,6 \text{ mm}^2 \geq 1104,4 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat bawah} = 6D25$$

$$\text{Tulangan tekan serat atas} = 3D25$$

Cek momen nominal penampang

$$A_s \text{ tulangan tarik } 6D25 = 2945,2 \text{ mm}^2$$

$$A_s' \text{ tulangan tekan 3D25} = 1472,6 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(A_s \text{ tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(2945,2 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 500} \right)$$

$$= 59 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 40 \times 500 \times 59$$

$$= 563277,7 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 563277,7 \times \left(729 - \frac{59}{2} \right)$$

$$M_n = 1072060994 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$$

$$1072060994 \text{ Nmm} \geq 703124625 \text{memenuhi}$$

Sehingga untuk daerah lapangan dipasang tulangan 6D25

4.3.2.8.4 Perhitungan Tulangan Geser

Penulangan geser dibagi atas dua bagian yaitu tumpuan dan lapangan. Data perencanaan adalah sebagai berikut :

Output gaya dalam

$$V_d = 104173,4 \text{ N}$$

$$V_l = 343491,9 \text{ N}$$

$$M_{d, \text{tumpuan}} = 292553744 \text{ Nmm}$$

$$M_{d, \text{lapangan}} = 146276872 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{max, tumpuan}} = 857516100 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{max, lapangan}} = 562499700 \text{ Nmm}$$

GESER DAERAH TUMPUAN

$x = \text{diambil dimuka kolom} = 0,5 \times b_k = 0,5 \times 700 = 350 \text{ mm}$

$$P = \frac{8 \times F \times f}{L^2} = \frac{8 \times 2060800 \times 308,4}{16850^2} = 17,9 \text{ N/mm}$$

$$V_p = \frac{L}{2} \times P = \frac{16850}{2} \times 17,9 = 150884,4 \text{ N}$$

Menghitung nilai V_{cw}

$$f_{pc} = \frac{F}{A_c} = \frac{2060800}{491727,7} = 4,19 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} V_{p.tumpuan} &= \frac{0,5L - 0,5H_{\text{kolom}}}{0,5L} \times V_p \\ &= \frac{0,5 \times 16850 - 0,5 \times 700}{0,5 \times 16850} \times 150884,4 \\ &= 144616,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p \\ &= (0,29 \times 1\sqrt{40} + 0,3 \times 4,19)500 \times 727,5 + 144616,1 \\ &= 1292119,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung nilai V_{ci}

$$f_{pe} = \frac{F_e}{A} + \frac{F_e \cdot e}{W_b} = \frac{1635210,3}{491727,7} + \frac{1635210,3 \times 110}{64884598,4} = 6,1 \text{ Mpa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{292553744}{64884598,4} = 4,5 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \frac{I}{Y_t} \left(0,5\lambda\sqrt{f'_c + f_{pe} - f_d} \right) \\ &= \frac{30069088971}{336,5} (0,5 \times 1\sqrt{40} + 6,1 - 4,5) \\ &= 424453516 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05\lambda\sqrt{f_c}b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{\max}} \\ &= 0,05 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 727,5 + 104173,4 + \frac{343491,9 \times 424453516}{857516100} \\ &= 389222,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{ci} > 0,17\lambda\sqrt{f_c}b_wd$$

$$389222,9 \text{ N} > 0,17 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 727,5$$

$$389222,9 \text{ N} < 391094,7 \text{ N}$$

Maka V_{ci} dipakai = 391094,7 N

Gaya geser beton yang diambil adalah nilai terkecil antara V_{cw} dan V_{ci} , karena $V_{ci} < V_{cw}$ maka $V_c = V_{ci} = 391094,7 \text{ N}$

Gaya geser desain

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{343491,9 - 0,75 \times 391094,7}{0,75} = 66894,5 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ S_{\text{perlu}} &= \frac{157 \times 240 \times 727,5}{66894,5} \end{aligned}$$

$$S_{\text{perlu}} = 683 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\ 125 &< \frac{729}{2} \end{aligned}$$

$$125 \text{ mm} < 364,5 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok

Pada ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $\frac{d}{4} = \frac{727,5 \text{ mm}}{4} = 182 \text{ mm}$

- $6 \times D \text{ lentur}$
 $= 6 \times 25$
 $= 150 \text{ mm}$

- 150 mm

Maka S pakai tidak boleh lebih dari 150 mm

Spakai < 150 mm

125 mm < 150 mm*memenuhi*

Jadi, penulangan geser balok pada daerah tumpuan dipasang Ø10-125 mm dengan sengkang 2 kaki

GESER DAERAH LAPANGAN

$$x = 2 \times h = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$$

$$P = \frac{8 \times F \times f}{L^2} = \frac{8 \times 2060800 \times 360}{16850^2} = 17,9 \text{ N/mm}$$

$$V_p = \frac{L}{2} \times P = \frac{16850}{2} \times 17,9 = 150884,4 \text{ N}$$

Menghitung nilai V_{cw}

$$f_{pc} = \frac{F}{A_c} = \frac{2060800}{491727,7} = 4,19 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} V_{p.lapangan} &= \frac{0,5L - 2 \times h}{0,5L} \times V_p \\ &= \frac{0,5 \times 16850 - 2 \times 800}{0,5 \times 16850} \times 150884,4 \\ &= 122229,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p$$

$$= (0,29 \times 1\sqrt{40} + 0,3 \times 4,19) 500 \times 727,5 + 122229,7$$

$$= 1269732,9 \text{ N}$$

Menghitung nilai V_{ci}

$$V_{d.lapangan} = \frac{0,5L - 2h}{0,5L} \times V_d' = \frac{0,5 \times 16850 - 1600}{0,5 \times 16850} \times 104173,4 = 84389,8 \text{ N}$$

$$V_{i.lapangan} = \frac{0,5L - 1/4L_{balok}}{0,5L} \times V_i' = \frac{0,5 \times 16850 - 1600}{0,5 \times 16850} \times 343491,9 = 278259 \text{ N}$$

$$f_{pe} = \frac{F_e}{A} + \frac{F_e \cdot e}{W_b} = \frac{1635210,3}{491727,7} + \frac{1635210,3 \times 308,4}{64884598,4} = 11 \text{ Mpa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{146276872}{64884598,4} = 2,2 \text{ Mpa}$$

$$M_{cre} = \frac{I}{Y_t} \left(0,5\lambda \sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d \right)$$

$$= \frac{30069088971}{336,5} (0,5 \times 1\sqrt{40} + 11 - 2,9)$$

$$= 1072608218 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0,05\lambda \sqrt{f_c} b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$$

$$= 0,05 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 727,5 + 84389,8 + \frac{278259 \times 1072608218}{562499700}$$

$$= 730018,6 \text{ N}$$

$$V_{ci} > 0,17\lambda \sqrt{f_c} b_w d$$

$$730018,6 \text{ N} > 0,17 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 729$$

$$730018,6 \text{ N} > 391901,1 \text{ N (*Memenuhi*)}$$

Gaya geser beton yang diambil adalah nilai terkecil antara V_{cw} dan

$$V_{ci}, \text{ karena } V_{ci} < V_{cw} \text{ maka } V_c = V_{ci} = 730018,6 \text{ N}$$

Gaya geser desain

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{278259 - 0,75 \times 730018,6}{0,75} = -359006,6 \text{ N}$$

Karena $V_s \text{ perlu} < 0$, maka dipasang tulangan geser minimum

$$V_s \min = \frac{b \times d}{3} = \frac{500 \times 729}{3} = 121500 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ S_{\text{perlu}} &= \frac{157 \times 240 \times 727,5}{121500} \end{aligned}$$

$$S_{\text{perlu}} = 226 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser

Jarak spasi tulangan geser

$$\begin{aligned} S_{\max} &< \frac{d}{2} \\ 200 &< \frac{727,5}{2} \end{aligned}$$

$$200 \text{ mm} < 363,8 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\max} < 600$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok pada daerah lapangan dipasang Ø10-200 mm dengan sengkang 2 kaki

4.3.2.8.5 Kontrol partial prestressing ratio (PPR)

Kuat nominal tulangan lunak harus dilakukan pengecekan terhadap momen ultimit dan momen retak balok. Desain balok prategang harus memenuhi rasio momen batas yang disyaratkan SNI 2847:2013 pasal 18.7

Data perencanaan :

$$F_u = 184000 \text{ N}$$

Luas kawat	= 100,1 mm ²
n strand	= 16 buah
A _{ps} (n x A)	= 1601,6 mm ²
f _{pu} (F _u / A _{ps})	= 1838,1 Mpa
f _{py} (0,9f _{pu})	= 1654,3 Mpa
f _{pu} / f _{py}	= 0,9
b _e	= 1264 mm
M _{cr}	= 974535139,8 Nmm

DAERAH TUMPUAN

Tulangan terpasang

Serata atas 9D25 = 4417,8 mm²

Serat bawah 5D25 = 2454,3 mm²

e_{tumpuan} = 110 mm (di atas c.g.c)

d_p = e_{tumpuan} + Y_b = 110 + 463,4 = 573,4 mm

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{500 \times 573,4} = 0,0055$$

Syarat I

Selimut beton < 0,15d_p

50 mm < 0,15 x 573,4

50 mm < 86 mm (**Memenuhi**)

Mencari nilai f_{ps} untuk tendon tidak terlekat

Rasio panjang balok terhadap tinggi penampang balok

L/h_b = 16850/800 = 21 < 35

Untuk L/h_b < 35, maka nilai f_{ps} harus dipilih yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$1) f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} = 1020,9 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,0055} = 1162,6 \text{ Mpa}$$

$$2) f_{ps} = f_{py} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

$$3) f_{ps} = f_{se} + 420 = 1020,9 + 420 = 1440,9 \text{ Mpa}$$

Maka f_{ps} = 1162,6 Mpa

Periksa apakah balok dianggap balok T atau balok persegi panjang

$$a = \left(\frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{1601,6 \times 1162,6 + 4417,8 \times 400}{0,85 \times 40 \times 500} \right)$$

$$= 213 \text{ mm} > 120 \text{ mm}$$

Karena ($a > t_p$) maka balok dianggap sebagai Balok T

$$A_{pw} \cdot f_{ps} = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y - 0,85 \times f_c (b - b_w) t_p$$

$$= 1601,6 \times 1162,5 + 4417,8 \times 400 - 0,85 \times 40 (1264 - 500) 120$$

$$= 510412,8 \text{ N}$$

$$a = \left(\frac{A_{pw} \times f_{ps}}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{510412,8}{0,85 \times 40 \times 500} \right)$$

$$= 30 \text{ mm}$$

Cek kondisi penulangan

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{500 \times 573,4} = 0,0055$$

$$\omega_p = \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} = \frac{0,0055 \times 1162,5}{40} = 0,162$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{4417,8}{500 \times 727,5} = 0,012$$

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,012 \times 400}{40} = 0,12$$

$$\rho' = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{2454,3}{500 \times 727,5} = 0,0067$$

$$\omega = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,0067 \times 400}{40} = 0,067$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') < 0,36 \beta_1$$

$$0,162 + \frac{727,5}{573,4} (0,12 - 0,067) < 0,36 \times 0,77$$

$0,23 < 28$ (**Penulangan normal**)

Balok termasuk balok dengan tulangan normal, maka M_n untuk balok dengan tulangan normal dihitung sebagai berikut :

$$M_n = A_{pw} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + 0,85 \times f_c (b - b_w) t_p$$

$$\begin{aligned}
 &= 510412,8 \left(573,4 - \frac{30}{2} \right) + 4417,8 \times 400 \left(727,5 - \frac{30}{2} \right) + 0,85 \times 40 (1264 - 500) 120 \\
 &= 2158531622 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal terhadap momen retak

$$\phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 2158531622 > 1,2 \times 974535139,8$$

$$1942678459 \text{ Nmm} > 1169442168 \text{ Nmm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol *partial prestressing ratio* (PPR)

$$\begin{aligned}
 M_{np} &= A_{pw} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 510412,8 \left(573,4 - \frac{30}{2} \right) \\
 &= 285020641,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\frac{M_{np}}{M_n} < 25\%$$

$$\frac{285020641,4}{2158531622} < 25\%$$

$$13,2\% < 25\% \text{ (*Memenuhi*)}$$

DAERAH LAPANGAN

Tulangan terpasang

$$\text{Serata bawah 6D25} = 2945,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Serat atas 3D25} = 1472,6 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{lapangan}} = 308,4 \text{ mm (di bawah c.g.c)}$$

$$d_p = e_{\text{lapangan}} + Y_t = 308,4 + 336,5 = 645 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{1264 \times 645} = 0,0019$$

Syarat I

$$\text{Selimut beton} < 0,15 d_p$$

$$50 \text{ mm} < 0,15 \times 645$$

$$50 \text{ mm} < 96,8 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Mencari nilai f_{ps} untuk tendon tidak terlekat

Rasio panjang balok terhadap tinggi penampang balok

$$L/h_b = 16850/800 = 21 < 35$$

Untuk $L/h_b < 35$, maka nilai f_{ps} harus dipilih yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$1) f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} = 1020,9 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,0019} = 1294,7 \text{ Mpa}$$

$$2) f_{ps} = f_{py} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

$$3) f_{ps} = f_{se} + 420 = 1020,9 + 420 = 1440,9 \text{ Mpa}$$

Maka $f_{ps} = 1294,7 \text{ Mpa}$

Periksa apakah balok dianggap balok T atau balok persegi panjang

$$a = \left(\frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ = \left(\frac{1601,6 \times 1294,7 + 2945,2 \times 400}{0,85 \times 40 \times 1264} \right) \\ = 75,6 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

Karena ($a < t_p$) maka balok dianggap sebagai Balok persegi panjang
Cek kondisi penulangan

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{1264 \times 573,4} = 0,0019$$

$$\omega_p = \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} = \frac{0,0019 \times 1294,7}{40} = 0,064$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{2945,2}{1264 \times 727,5} = 0,0032$$

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,0032 \times 400}{40} = 0,032$$

$$\rho' = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{1472,6}{500 \times 727,5} = 0,004$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,004 \times 400}{40} = 0,04$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') < 0,36 \beta_1$$

$$0,064 + \frac{727,5}{645} (0,032 - 0,04) < 0,36 \times 0,77$$

$$0,054 < 0,28 \text{ (Penulangan normal)}$$

Balok termasuk balok dengan tulangan normal, maka M_n untuk balok dengan tulangan normal dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_n &= A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1601,6 \times 1294,6 \left(645 - \frac{75,6}{2} \right) + 2945,2 \times 400 \left(727,5 - \frac{75,6}{2} \right) \\ &= 2071523598 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal terhadap momen retak

$$\phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 2071523598 > 1,2 \times 974535139,8$$

$$1864371238 \text{ Nmm} > 1169442168 \text{ Nmm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

4.3.2.8.6 Perhitungan Angkur Ujung

Penulangan pada zona angkur untuk menghindari pembelahan dan blusting akibat gaya tekan terpusat yang disalurkan melalui alat angkur.

$$F_o = 2000000 \text{ N}$$

$$P_u = 1,2 \times F_o = 1,2 \times 2000000 = 2400000 \text{ N}$$

Data perencanaan

$$a = 265 \text{ mm (angkur dengan strand 16 buah)}$$

$$e = 110 \text{ mm (eksentrisitas tumpuan)}$$

$$h = 700 \text{ mm (tinggi penampang pada arah ditinjau)}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h - 2e) = 0,5(800 - 2 \times 265) = 290 \text{ mm}$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \sum P_u \left(1 - \frac{a}{h} \right) = 0,25 \times 2880000 \left(1 - \frac{265}{800} \right) = 401250 \text{ N}$$

$$A_{vp} = \frac{T_{\text{pencar}}}{f_y} = \frac{401250}{400} = 1003 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan Ø13, $A_v = 265 \text{ mm}^2$, maka jumlah tulangan sengkang diperlukan

$$n = \frac{A_{vp}}{A_v} = \frac{1003}{265} = 4 \text{ buah}$$

Jarak sengkang pada daerah angkur

$$S = \frac{d_{\text{pencar}}}{n} = \frac{290}{4} = 72,5 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang tulangan Ø13-70

4.3.2.8.7 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan *SNI 2847:2013 pasal 12*.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 4327 mm ²	f _y	= 400 Mpa
As pasang	= 4417,8 mm ²	Ψ _e	= 1
Db	= 25 mm	Ψ _t	= 1
Fc	= 40 Mpa	λ	= 1

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_d = 930 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{4327}{4417,8} \times 1395$$

$$l_d = 930 \text{ mm} \approx 950 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$950 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 950 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 4327 mm ²	f_y	= 400 Mpa
As pasang	= 4417,8 mm ²	Ψ_e	= 1
Db	= 25 mm	λ	= 1
Fc	= 40 Mpa		

Perhitungan

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_{dh} = 379 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{4327}{4417,8} \times 379$$

$$l_d = 372 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$400 \text{ mm} \geq 8 \times 25$$

$$400 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 400 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(25) = 300 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 300 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 400 dan panjang kait 300 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 2209 mm ²	fy	= 400 Mpa
As pasang	= 2454 mm ²	Fc	= 40 Mpa
Db	= 25 mm	λ	= 1

Perhitungan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_{dc} = 379 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 25$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 430 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{2209}{2454} \times 430$$

$$l_{dc} = 387 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka dipakai panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 400 mm

4.3.4 Detail Perhitungan Struktur Bawah

4.3.4.1 Perhitungan pondasi tiang pancang

Pondasi yang digunakan untuk struktur bawah adalah pondasi tiang pancang dengan spesifikasi sebagai berikut :

Data perencanaan

Kedalaman rencana	= 18 m
Diameter tiang	= 0,6 m
Tebal selimut beton	= 65 mm
P.izin bahan	= 229,5 Ton
Berat tiang	= 393 kg/m
F_c'	= 35 Mpa
F_y	= 400 Mpa

Data tanah dan P_{izin} tanah tiap kedalaman dengan rumus Mayerhoff

$$P_{ult} = \frac{40 \cdot \bar{N} \cdot A_p + \sum (f_{si} \cdot A_{st})}{SF}$$

Keterangan

N = Nilai rata-rata N setelah koreksi pada 4D di bawah dan 8D di atas kedalaman

A_p = Luas ujung tiang

A_{st} = Luas selimut tiang

SF = 3

f_{si} = Gaya geser pada selimut segmen tiang

$N_{koreksi}/5$ untuk pasir

$N_{koreksi}/2$ untuk lanau

Perhitungan daya dukung tanah pada tiap lapisan ditampilkan dalam tabel berikut :

Tabel 4.19 Daya dukung satu tiang metode Mayerhoff

Depth (m)	Tan	N SPT	n1	n2	N1	γ _{.sat}	γ'	Po	Ncor	N.co	N rata	Q _{ujung}	f _{si}	R _{si}	ΣR _{si}	P _{ijin}
0	P	0	0	0	0	1,69	0,71	0,00	0,0	0,0	26,5	299	0	0	0	99,8
1	L	11	11	11	11	1,69	0,71	0,71	32,7	21,0	24,8	280	16	31	31	104
2	L	21	21	21	21	1,69	0,71	1,42	53,6	42,0	23,2	262	27	50	81	115
3	L	20	20	20	20	1,69	0,71	2,13	42,1	39,0	21,7	245	21	40	121	122
4	L	18	18	18	18	1,69	0,71	2,84	33,7	33,7	23,2	262	17	32	153	138
5	L	14	14	14	14	1,69	0,71	3,55	23,1	23,1	22,7	257	12	22	175	144
6	L	10	10	10	10	1,71	0,73	4,28	14,8	14,8	19,9	226	7	14	189	138
7	L	9	9	9	9	1,71	0,73	5,00	12,0	12,0	17,7	200	6	11	200	133
8	L	8	8	8	8	1,71	0,73	5,73	9,7	9,7	16,2	183	5	9	209	131
9	L	12	12	12	12	1,71	0,73	6,45	13,4	13,4	16,1	182	7	13	222	134
10	L	16	16	16	16	1,71	0,73	7,18	16,5	16,5	16,2	183	8	16	237	140
11	L	18	18	18	18	1,85	0,87	8,05	17,3	17,3	17,0	192	9	16	253	148
12	L	19	19	19	19	1,85	0,87	8,92	18,4	18,4	17,7	200	9	17	271	157
13	L	22	22	22	22	1,85	0,87	9,79	20,3	20,3	18,8	213	10	19	290	168
14	L	24	24	24	24	1,85	0,87	10,7	22,2	22,2	19,5	221	11	21	311	177
15	P	30	22	18	18	1,85	0,87	11,5	16,1	16,1	20,1	227	3	6	317	181
16	P	35	25	21	21	1,74	0,76	12,3	18,8	18,8	21,0	237	4	7	324	187
17	P	31	23	19	19	1,74	0,76	13,0	16,3	16,3	22,1	249	3	6	330	193
18	L	27	27	27	27	1,74	0,76	13,8	23,3	23,3	23,2	263	12	22	352	205
19	L	27	27	27	27	1,74	0,76	14,5	23,0	23,0	25,3	287	11	22	374	220
20	L	27	27	27	27	1,74	0,76	15,3	22,6	22,6	26,7	302	11	21	395	232
21	L	32	32	32	32	1,81	0,83	16,1	26,3	26,3	27,9	316	13	25	420	245
22	L	37	37	37	37	1,81	0,83	17,0	29,9	29,9	28,0	317	15	28	448	255
23	L	41	41	41	41	1,81	0,83	17,8	32,6	32,6	27,8	315	16	31	479	265
24	L	45	45	45	45	1,81	0,83	18,6	35,2	35,2	27,5	312	18	33	512	275
25	L	41	41	41	41	1,81	0,83	19,5	31,2	31,2	26,7	302	16	29	541	281
26	L	36	36	36	36	1,83	0,85	20,3	27,3	27,3	26,3	297	14	26	567	288
27	L	33	33	33	33	1,83	0,85	21,2	24,2	24,2	25,4	287	12	23	590	292
28	L	29	29	29	29	1,83	0,85	22,0	21,3	21,3	23,7	268	11	20	610	293
29	L	28	28	28	28	1,83	0,85	22,9	19,9	19,9	22,2	251	10	19	629	293
30	L	26	26	26	26	1,83	0,85	23,7	18,5	18,5	21,0	237	9	17	646	294

Cek syarat P_{izin} tanah terhadap P_{izin} bahan pada kedalaman yang ditentukan

$$P_{izin\ tanah} < P_{izin\ bahan}$$
$$204,9\ Ton < 229,5\ Ton\ (**Memenuhi**)$$

Perhitungan kebutuhan pondasi tiap titik akibat gaya aksial maksimum

$$n = \frac{P_{max}}{P_{izin\ tanah}} = \frac{\text{Nilai P diambil dari kombinasi yang memberi beban aksial max}}{P\ izin\ tanah\ pada\ kedalaman\ 18\ m}$$

Tabel 4.20 Kebutuhan tiang akibat beban aksial

Joint	P max (Ton)	n Tiang Pancang
1	45,61	1
2	79,50	1
3	421,72	3
4	448,14	3
5	419,94	3
6	331,96	2
9	506,99	3
8	378,11	2
10	548,02	3
11	663,87	4
12	642,20	4
14	445,27	3
16	418,23	3
17	453,93	3
18	331,09	2
19	316,65	2
20	480,75	3
21	533,13	3
22	440,84	3
23	407,84	2
24	356,42	2
25	345,63	2
26	545,48	3
27	567,69	3
28	715,13	4

29	780,56	4
30	643,50	4
31	600,17	3
33	776,25	4
34	616,25	4
35	585,66	3
36	711,86	4
37	545,24	3
38	501,83	3
39	607,37	3
40	726,09	4
41	562,93	3
42	514,47	3

Perencanaan pondasi dengan 4 tiang pancang

$$P_{\max} = 545,4 \text{ Ton}$$

Jumlah tiang

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{izin tanah}}} = \frac{545,4}{204,9} = 2,6 \text{ buah}$$

Dicoba dipakai 4 buah tiang

Perencanaan dimensi poer

➤ Syarat jarak antar tiang pancang (S)

$$2,5D \leq S \leq 3D$$

$$2,5 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$$

$$150 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$$

maka dipakai $S = 150 \text{ cm}$

➤ Syarat jarak tiang ke tepi poer

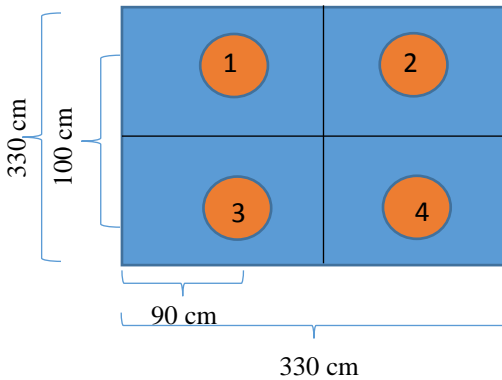
$$1,5D \leq S' \leq 2D$$

$$1,5 \times 60 \leq S' \leq 2 \times 60$$

$$90 \text{ cm} \leq S' \leq 120 \text{ cm}$$

maka dipakai $S' = 90 \text{ cm}$

Konfigurasi tiang sebagai berikut



Pengecekan ulang terhadap kebutuhan tiang pancang
Tebal poer rencana = 0,9 m

Beban-beban

$$P_{\text{etabs}} = 545,4 = 545,4 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat poer} = 3,3 \times 3,3 \times 0,9 \times 2400 = 23,5 \text{ Ton}$$

$$P_{\text{max}} = 569 \text{ Ton}$$

$$n = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{izin tanah}}} = \frac{569}{204,9} = 2,78 \text{ buah}$$

dipakai 4 buah tiang pancang

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi tiang kelompok

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \text{Arctag} \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \\ &= 1 - \text{Arctag} \frac{0,6}{1,5} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90.2.2} \right] \\ &= 0,758 \end{aligned}$$

$$P_{\text{izin tanah koreksi}} = \eta \times P_{\text{izin tanah}} = 0,758 \times 204,9 = 155,2 \text{ Ton}$$

Kontrol $P_{\text{izin tanah}}$ terhadap kelompok tiang

Berat

$$P_{\text{etabs}} = 545,4 = 545,4 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat poer} = 3,3 \times 3,3 \times 0,9 \times 2400 = 23,5 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat tiang} = 18 \times 4 \times 0,393 = 28,2 \text{ Ton}$$

$P_{\max} = 597,3 \text{ Ton}$

$P_{\text{izin tanah total}} = n \text{ tiang} \times P_{\text{izin tanah koreksi}}$
 $= 4 \times 155,2 \text{ Ton}$
 $= 621 \text{ Ton}$

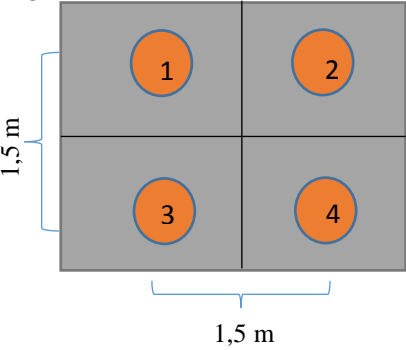
Cek syarat :

$P_{\max} < P_{\text{izin tanah total}}$
 $597,3 \text{ Ton} < 621 \text{ Ton}$ (*Memenuhi*)

Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok akibat beban maksimum tiap arah

Jarak sumbu tiang ke titik berat

Kelompok tiang



Arah X

No.	X	X ²
1	-0,75 m	0,5625 m
2	0,75 m	0,5625 m
3	-0,75 m	0,5625 m
4	0,75 m	0,5625 m
Σx^2		2,25 m

Arah Y

No.	Y	Y ²
1	0,75 m	0,5625 m
2	0,75 m	0,5625 m
3	-0,75 m	0,5625 m
4	-0,75 m	0,5625 m
Σy^2		2,25 m

Akibat kombinasi yang menghasilkan $P_{u_{\max}}$

Gaya output ETABS :

$P = 493,6 \text{ T}$

$M_y = 3,85 \text{ Tm}$

$M_x = 0,33 \text{ Tm}$

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{P_u}{n} + \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times 0,75}{2,25} + \frac{3,85 \times (-0,75)}{2,25} = 122,3 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times 0,75}{2,25} + \frac{3,85 \times 0,75}{2,25} = 124,8 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{3,85 \times (-0,75)}{2,25} = 122 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{3,85 \times 0,75}{2,25} = 124,5 \text{ T}$$

$$P_{\max} = P_2 = 124,8 \text{ T}$$

Kontrol tiang tekan

$$P_{\max} < P_{\text{izin tanah}} \text{ 1 tiang}$$

$$124,8 \text{ T} < 155,2 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Akibat kombinasi yang menghasilkan $M_{x\max}$

Gaya output ETABS :

$$P = 355,1 \text{ T}$$

$$M_y = -9,52 \text{ Tm}$$

$$M_x = -24,75 \text{ Tm}$$

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{P_u}{n} + \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times 0,75}{2,25} + \frac{-9,52 \times (-0,75)}{2,25} = 83,7 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times 0,75}{2,25} + \frac{-9,52 \times 0,75}{2,25} = 77,3 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{-9,52 \times (-0,75)}{2,25} = 100,2 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{-9,52 \times 0,75}{2,25} = 93,8 \text{ T}$$

$$P_{\max} = P_3 = 100,2 \text{ T}$$

Kontrol tiang tekan

$$P_{\max} < P_{\text{izin tanah}} \text{ 1 tiang}$$

$$100,2 \text{ T} < 155,2 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Akibat kombinasi yang menghasilkan $M_{y_{\max}}$

Gaya output ETABS :

$$P = 466,2 \text{ T}$$

$$M_y = 32,52 \text{ Tm}$$

$$M_x = 8,47 \text{ Tm}$$

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{P_u}{n} + \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times 0,75}{2,25} + \frac{32,52 \times (-0,75)}{2,25} = 108,5 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times 0,75}{2,25} + \frac{32,52 \times 0,75}{2,25} = 130,2 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{32,52 \times (-0,75)}{2,25} = 102,9 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{32,52 \times 0,75}{2,25} = 124,5 \text{ T}$$

$$P_{\max} = P_2 = 130,2 \text{ T}$$

Kontrol tiang tekan

$$P_{\max} < P_{\text{izin tanah}} \text{ 1 tiang}$$

$$130,2 \text{ T} < 155,2 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Perhitungan tebal poer akibat kolom

Gaya output etabs

$$P_{\text{ultimit max}} = 757,1 \text{ Ton (Envelope ulimit)}$$

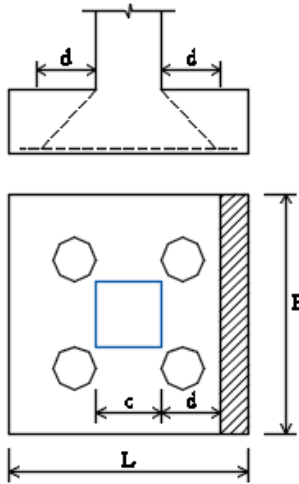
$$\text{Tebal poer rencana} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Dimensi poer} = 3,3 \times 3,3$$

$$\text{Selimut beton} = 0,075 \text{ m}$$

$$\text{Dimensi kolom} = 90/90$$

Kontrol geser satu arah poer akibat kolom



Gambar 4.28 Geser pons satu arah akibat kolom

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{757,1}{3,3 \times 3,3} = 69,5 \text{ T/m}^2$$

$$b_w = 3,3 \text{ m}$$

$$d = \text{tebal poer} - \text{selimut beton} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m}$$

$$G' = L - 0,5b_w - 0,5h_k - d = 3,3 - 0,5 \times 3,3 - 0,5 \times 0,9 - 0,825 = 0,375 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma \times b_w \times G' = 69,5 \times 3,3 \times 0,375 = 86,04 \text{ Ton}$$

Cek kuat geser beton

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c}b_wd = 0,17 \times 1\sqrt{35} \times 3,3 \times 0,825 = 273,8 \text{ T}$$

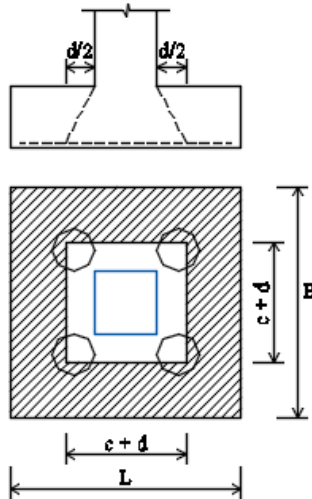
$$\phi V_c = 0,75 \times 273,8 = 205,3 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$86,04 \text{ T} \leq 205,3 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol geser dua arah poer akibat kolom



Gambar 4.29 Geser pons dua arah akibat kolom

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{757,1}{3,3 \times 3,3} = 69,5 \text{ T/m}^2$$

$$h_w = 3,3 \text{ m}$$

$$d = \text{tebal poer} - \text{selimut beton} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m}$$

$$B' = \text{lebar kolom} + d = 0,9 + 0,825 = 1,73 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma (h_w^2 - B'^2) = 69,5 (3,3^2 - 1,73^2) = 550,2 \text{ Ton}$$

Kekuatan geser beton diambil yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$a_n = \text{sisi panjang kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$b_n = \text{sisi pendek kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$\beta = a_n / b_n = 90/900 = 1$$

$$d = \text{t.poer} - \text{cover} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m} = 825 \text{ mm}$$

$$b_o = \text{kll. penampang kritis} = 4 \times B' = 4 \times 1,73 = 6,9 \text{ m} = 6900 \text{ mm}$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 6900 \times 825$$

$$= 1717,5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 1717,5 \text{ T}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= 0,083 \left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,083 \left(2 + \frac{30 \times 725}{6500} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 6900 \times 825 \\
 &= 1561,6 \times 10^4 \text{ N} \\
 &= 1561,6 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,33 \times 1 \sqrt{35} \times 6900 \times 825 \\
 &= 1122,5 \times 10^4 \text{ N} \\
 &= 1122,5 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Maka nilai yang diambil adalah $V_c = 91122,5 \text{ T}$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 1122,5 = 841,9 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \emptyset V_c$$

$$550,2 \text{ T} \leq 841,9 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Perhitungan tebal poer akibat tiang pancang

Gaya output etabs

P ultimit max	= 641,7 Ton (Envolpe Izin)
Tebal poer rencana	= 0,9 m
Dimensi poer	= 3,3 x 3,3
Selimut beton	= 0,075 m
Dimensi kolom	= 90/90

Kontrol geser satu arah poer akibat tiang pancang

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{641,7}{3,3 \times 3,3} = 58,9 \text{ T/m}^2$$

$$b_w = 3,3 \text{ m}$$

$$d = \text{tebal poer} - \text{selimut beton} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m}$$

$$L' = L - 0,5b_w - 0,5h_k - d = 3,3 - 0,5 \times 3,3 - 0,5 \times 0,9 - 0,825 = 0,375 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma \times b_w \times L' = 58,9 \times 3,3 \times 0,375 = 72,9 \text{ Ton}$$

Cek kuat geser beton

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d = 0,17 \times 1 \sqrt{35} \times 3,3 \times 0,825 = 273,8 \text{ T}$$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 273,8 = 205,3 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \emptyset V_c$$

$$72,9 \text{ T} \leq 205,3 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol geser dua arah poer akibat tiang pancang

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{641,7}{3,3 \times 3,3} = 58,9 \text{ T/m}^2$$

$$h_w = 3,3 \text{ m}$$

$$d = \text{tebal poer} - \text{selimut beton} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m}$$

$$B' = \text{lebar kolom} + d = 0,9 + 0,825 = 1,73 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma (h_w^2 - B'^2) = 58,9 (3,3^2 - 1,73^2) = 335,4 \text{ Ton}$$

Kekuatan geser beton diambil yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$a_n = \text{sisi panjang kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$b_n = \text{sisi pendek kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$\beta = a_n / b_n = 900 / 900 = 1$$

$$d = \text{t.pouer} - \text{cover} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m} = 825 \text{ mm}$$

$$b_o = \text{kll. penampang kritis}$$

$$= 2(b_k + d) + 2(h_k + d)$$

$$= 2(90 + 825) + 2(90 + 825)$$

$$= 3660 \text{ mm}$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 3660 \times 825$$

$$= 911 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 911 \text{ T}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,083 \left(2 + \frac{30 \times 825}{3660} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 3660 \times 825$$

$$= 1299,1 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 1299,1 \text{ T}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 3660 \times 825$$

$$= 589,5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 589,5 \text{ T}$$

Maka nilai yang diambil adalah $V_c = 589,5 \text{ T}$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 589,5 = 442,1 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \phi V_c$$
$$335,4 \text{ T} \leq 442,1 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol terhadap panjang penyaluran kolom

L_{dc} diambil yang terbesar dari persamaan berikut :

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$
$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \right) 25$$
$$l_{dc} = 405,6 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$
$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 25$$
$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} pakai adalah 450 mm

Cek syarat

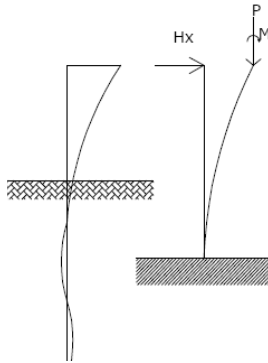
Tebal poer > L_{dc} pakai
 $900 \text{ mm} > 450 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$

Rekapitulasi perhitungan geser pons poer

Tabel 4.21 Rekap geser pons poer

Tipe poer	n	Geser 1 arah			Geser 2 arah		
	tiang	ϕV_n	V_u	Cek	ϕV_n	V_u	Cek
	(buah)	(T)	(T)		(T)	(T)	
PC1	2	205	96,4	OK	841,9	616	OK
PC2	2	99	6,37	OK	489,9	107	OK
PC3	4	205	86	OK	841,9	550	OK
PC4	6	335	292	OK	998,7	449	OK
PCL	15	832	492	OK	1540,0	477	OK

Kontrol kekuatan tiang terhadap momen retak



Gambar 4.30 Panjang jepit kritis tanah

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter
 Multilayer : 1.5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multi layer

L_e = panjang penjepitan
 $= 3 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ m}$

Dipakai $L_e = 2.4 \text{ m}$

M_y = $L_e \times H_y$
 $= 1,8 \times 9,054$
 $= 16,297 \text{ Tm}$

M_y (satu tiang pancang) = $M_y / n = 16,297 / 4 = 4,07 \text{ Tm}$

Syarat momen crack tiang pancang

$M_y < M_{\text{bending crack}}$
 $4,07 \text{ Tm} < 29 \text{ Tm}$ (Memenuhi)

M_x = $L_e \times H_x$
 $= 1,8 \times 12,51$
 $= 22,51 \text{ Tm}$

M_x (satu tiang pancang) = $M_x / n = 22,51 / 4 = 5,62 \text{ Tm}$

Syarat momen crack tiang pancang

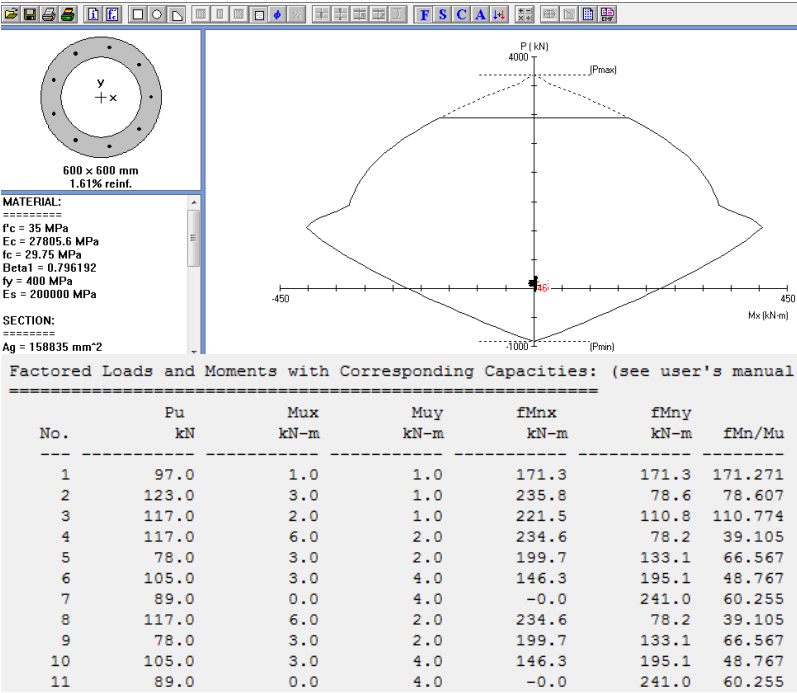
$$M_x < M_{\text{bending crack}}$$
$$5,62 \text{ Tm} < 29 \text{ Tm (Memenuhi)}$$

Kontrol Mn tiang pancang

Pengecekan dengan program pcaColumn

Diameter : 600 mm

Gaya : Gaya yang dipikul adalah momen dari gaya lateral yang dikalikan panjang jepit pada masing- masing kombinasi



Gambar 4.31 Mn tiang pancang

Dari pengecekan di atas dapat diketahui bahwa tiang telah aman untuk memikul gaya yang terjadi. Sehingga tiang dapat dinyatakan aman.

4.3.4.2 Perhitungan penulangan lentur poer

Perhitungan tulangan lentur poer diasumsikan sebagai balok kantilever

Data perencanaan

Dimensi poer = 3300 x 3300

Tebal poer = 900 mm

Jumlah tiang = 4 buah

Dimensi kolom = 900 x 900

Mutu beton = 35 Mpa

Mutu tulangan = 400 Mpa

Diameter tul.lentur = 22 mm

Selimut beton = 75 mm

Tebal manfaat plat

$D_x = \text{tebal poer} - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \varnothing$

$= 900 \text{ mm} - 475 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}$

$= 812,2 \text{ mm}$

$D_y = \text{tebal poer} - \text{tebal selimut} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing$

$= 900 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}$

$= 787,5 \text{ mm}$

Lengan momen tiang pancang pada tiap arah

Karena poer persegi maka Arah X dan arah Y sama

n.tiang arah x = 2 buah

n.tiang arah y = 2 buah

$b_1 = 3300/2 - 900/2 = 1200 \text{ mm}$

$b_2 = S' = 900 \text{ mm}$

$b_3 = 1200 - 900 = 300 \text{ mm}$

Beban yang terjadi

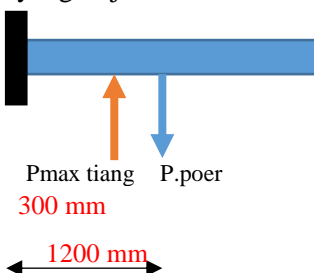
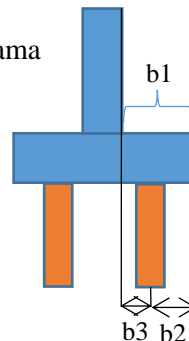
$P_{\text{poer}} = b_1 \times \text{lebar poer} \times t_{\text{poer}} \times 2400$

$= 1,2 \times 3,3 \times 0,9 \times 2400$

$= 8553,6 \text{ kg}$

$P_{\text{max tiang}} = 130,234 \text{ T} = 130234 \text{ kg}$

Momen yang terjadi





Momen yang terjadi

$$\begin{aligned}
 M_u &= \text{Momen poer} + \text{Momen tiang pancang} \\
 &= P_{\text{poer}} \times b_1 \times 0,5 + P_{\text{max tiang}} \times n_{\text{tiang}} \times b_3 \\
 &= 8553,6 \times 1,2 \times 0,5 + 130234 \times 2 \times 0,3 \\
 &= 73008,2 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Batasan rasio tulangan

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0361 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0361 = 0,0271 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 35} = 13,4 \\
 M_u &= 73008,2 \cdot 10^4 \text{ Nmm} \\
 M_n &= \frac{M_u}{\Phi} = \frac{73008,2 \cdot 10^4}{0,9} = 811202805,6 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{811202805,6}{3300 \times 812,2^2} = 0,37 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{13,4} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,4 \cdot 0,37}{400}} \right] \\
 &= 0,00094
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,00094 < 0,027, \text{ dipakai } \rho_{\min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\
 &= 0,0035 \cdot 3300 \cdot 812,2 \\
 &= 9384 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan Ø22-125

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{max}} \leq 2h$$

$$S_{\text{max}} = 2 \cdot 900 \text{ mm} = 1800 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm} < 1600 \text{ mm} \dots \textbf{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (22)^2 \cdot (3300)}{125} \\
 &= 10035,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat : $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

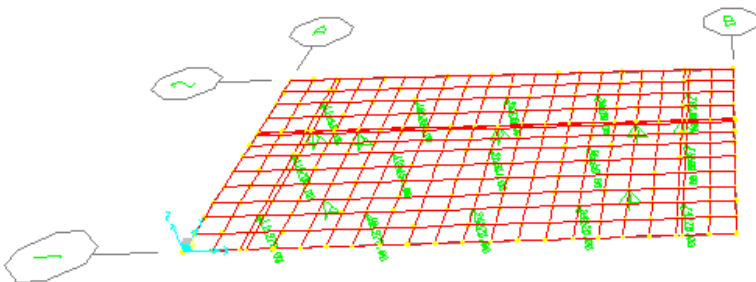
$$10035,5 \text{ mm}^2 > 9384 \text{ mm}^2 \dots \textbf{Memenuhi}$$

Penulangan pondasi lift

Pondasi lift dimodelkan sebagai shell dengan SAP 2000

Dimensi pondasi : 5400 x 9000

Jumlah tiang : 15 buah



Gambar 4.32 Permodelan pondasi lift

Output gaya

$$M_{11} = 97042,38 \text{ kgm}$$

$$M_{22} = 13402,6 \text{ kgm}$$

Penulangan lentur

Batasan rasio tulangan

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0361$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0361 = 0,0271$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 35} = 13,4$$

Penulangan Arah X

$$M_u = 97042,38 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{97042,38 \cdot 10^4}{0,9} = 8733814200 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{8733814200}{9000 \times 812,2^2} = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{13,4} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,4 \cdot 0,7}{400}} \right]$$

$$= 0,0018$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0018 < 0,027, \text{ dipakai } \rho_{\min}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x = 0,0035 \cdot 5400 \cdot 1214 = 22945 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan Ø25-100

Syarat spasi antar tulangan

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (25)^2 \cdot (5400)}{100}$$

$$=26507,1 \text{ mm}^2$$

Syarat : As pakai > As perlu

$$26507,1 \text{ mm}^2 > 22945 \text{ mm}^2 \text{Memenuhi}$$

Penulangan Arah Y

$$M_u = 134022,6 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{134022,6 \cdot 10^4}{0,9} = 8041354200 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{8041354200}{5400 \times 812,2^2} = 1,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{13,4} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,4 \cdot 1,04}{400}} \right]$$

$$= 0,0026$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0026 < 0,027, \text{ dipakai } \rho_{\min}$$

$$\text{As perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y = 0,0035 \cdot 9000 \cdot 1192 = 37548 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan Ø25-100

Syarat spasi antar tulangan

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (25)^2 \cdot (9000)}{100}$$

$$= 44178,6 \text{ mm}^2$$

Syarat : As pakai > As perlu

$$44178,6 \text{ mm}^2 > 37548 \text{ mm}^2 \text{Memenuhi}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

RINGKASAN DAN SARAN

5.1. Ringkasan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat dibuat beberapa ringkasan sebagai berikut :

- **Komponen Pelat**

Tipe Tangga	Elemen	Arah penulangan					
		Arah X			Arah Y		
		Ø	-	Jarak	Ø	-	Jarak
Plat Lt.Dasar	Tumpuan	13	-	100	13	-	100
	Lapangan	13	-	150	13	-	150
Plat Lantai 1-12	Tumpuan	13	-	150	13	-	150
	Lapangan	13	-	200	13	-	200
Plat Atap	Tumpuan	13	-	200	13	-	200
	Lapangan	13	-	200	13	-	200

Tabel 5.1 : Rekapitulasi plat 1

Untuk Tulangan susut dipakai Ø8-2000

- **Komponen Tangga**

Tabel 5.2 : Rekapitulasi Penulangan tangga

Tipe Tangga	Elemen	Arah penulangan					
		Arah X			Arah Y		
		Ø	-	Jarak	Ø	-	Jarak
Tipe 1	Pt-Tangga	16	-	125	13	-	150
	Pt-Bordes	16	-	125	13	-	150
Tipe 2	Pt-Tangga	16	-	100	16	-	120

	Pt-Bordes	16	-	100	16	-	120
Tipe 3	Pt-Tangga	16	-	150	13	-	100
	Pt-Bordes	16	-	150	13	-	100

Untuk Tulangan susut dipakai Ø8-2000

Tabel 5.3 : Rekapitulasi Penulangan Balok Bordes

Tipe	BB1			BB2		
Dimensi	250	x	400	250	x	400
Tumpuan atas	8	D	16	6	D	19
Tumpuan Bawah	5	D	16	4	D	19
Lapangan atas	3	D	16	2	D	19
Lapangan bawah	4	D	16	4	D	19
Torsi	4	Ø	16	4	D	19
Geser tumpuan	10	-	80	3Ø10	-	125
Geser lapangan	10	-	150	3Ø10	-	200

- Komponen Balok Non-Pratekan**

Tabel 5.4 : Rekapitulasi Penulangan Sloof

Tipe	S1			S2			S3		
Dimensi	350	x	500	250	x	400	350	x	500
Tumpuan atas	7	D	19	8	D	19	4	D	19
Tumpuan Bawah	7	D	19	8	D	19	4	D	19
Lapangan atas	7	D	19	8	D	19	4	D	19
Lapangan bawah	7	D	19	8	D	19	4	D	19
Torsi	2	Ø	16	6	D	16	2	D	16
Geser tumpuan	3Ø10	-	100	3Ø10	-	100	10	-	150
Geser lapangan	3Ø10	-	200	3Ø10	-	150	10	-	200

Tabel 5.5 : Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 1-4

Tipe	BI-1			BI-2			BA1		
Dimensi	400	x	700	400	x	700	300	x	400
Tumpuan atas	8	D	22	7	D	22	6	D	16
Tumpuan Bawah	5	D	22	4	D	22	4	D	16
Lapangan atas	3	D	22	3	D	22	3	D	16
Lapangan bawah	5	D	22	6	D	22	6	D	16
Torsi	4	Ø	13	4	Ø	16	4	D	13
Geser tumpuan	3Ø10	-	100	3Ø10	-	100	10	-	125
Geser lapangan	3Ø10	-	200	3Ø10	-	200	10	-	150

Tabel 5.6 : Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 5-9

Tipe	BI-3			BI-4			BA2		
Dimensi	400	x	700	400	x	700	300	x	400
Tumpuan atas	8	D	22	7	D	22	6	D	16
Tumpuan Bawah	5	D	22	4	D	22	4	D	16
Lapangan atas	3	D	22	3	D	22	3	D	16
Lapangan bawah	5	D	22	5	D	22	4	D	16
Torsi	4	Ø	16	4	Ø	16	4	D	13
Geser tumpuan	3Ø10	-	100	3Ø10	-	100	10	-	125
Geser lapangan	3Ø10	-	200	3Ø10	-	200	10	-	150

Tabel 5.7 : Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 10-12

Tipe	BI-5			BI-6			BA3		
Dimensi	400	x	700	400	x	700	300	x	400
Tumpuan atas	7	D	22	6	D	22	5	D	16
Tumpuan Bawah	4	D	22	4	D	22	3	D	16
Lapangan atas	3	D	22	3	D	22	2	D	16
Lapangan bawah	5	D	22	4	D	22	4	D	16
Torsi	4	Ø	16	4	Ø	16	2	D	13
Geser tumpuan	3Ø10	-	125	3Ø10	-	125	10	-	125
Geser lapangan	3Ø10	-	200	3Ø10	-	200	10	-	150

Tabel 5.8 : Rekapitulasi Balok Lantai Atap

Tipe	BI-7			BI-8			BA3		
Dimensi	400	x	700	500	x	800	300	x	400
Tumpuan atas	7	D	22	6	D	22	5	D	16
Tumpuan Bawah	4	D	22	4	D	22	3	D	16
Lapangan atas	2	D	22	3	D	22	2	D	16
Lapangan bawah	4	D	22	6	D	22	4	D	16
Torsi	4	Ø	16	6	Ø	19	2	D	13
Geser tumpuan	3Ø10	-	125	3Ø10	-	125	10	-	125
Geser lapangan	3Ø10	-	150	3Ø10	-	200	10	-	150

- Komponen Balok Pratekan**

Tipe	BB1		
Dimensi	500	x	800
Tumpuan atas	9	D	25
Tumpuan Bawah	5	D	25

Lapangan atas	3	D	25
Lapangan bawah	6	D	25
Torsi	4	Ø	16
Geser tumpuan	10	-	100
Geser lapangan	10	-	150
Jumlah Strands	16 buah		
Lekatan	Unbounded		
Diameter (mm)	12,7		
Ap @ strands (mm ²)	100,1		
Duct (mm)	84		
Live end anchorage	VSL Stressing anchorage type Sc		
Dead end anchorage	VSL dead end anchorage type P		

- **Komponen lom**

Tabel 5.9 : Rekapitulasi penulangan kolom

Tipe	K1			K2			K3		
Lokasi	Lt dasar - Lt 5			Lt 5 – Lt 9			Lt 9 - Lt Atap		
Dimensi	900	x	900	800	x	800	700	x	700
Lentur	20	D	25	20	D	25	20	D	25
Geser tumpuan	4Ø13	-	80	4Ø13	-	90	4Ø13	-	90
Geser lapangan	13	-	150	13	-	150	13	-	150
Tipe	K4			KL					
Lokasi	Lt dasar - Lt 2			Lt dasar – Lt atap					
Dimensi	700	x	700	400	x	600			
Lentur	12	D	25	10	D	19			
Geser tumpuan	4Ø13	-	90	12	-	100			
Geser lapangan	13	-	150	12	-	150			

- **Komponen Pilecap dan Tiang pancang**

Tabel 5.10 : Rekapitulasi pilecap

Tipe	Dimensi (cm)	Jumlah Tiang Pancang (Buah)	Penulangan Pile Cap					
			Arah X			Arah Y		
			Ø	-	Jarak	Ø	-	Jarak
Tipe 1	180 x 330 x 90	2	22	-	125	22	-	125
Tipe 2	120 x 210 x 90	2	22	-	125	22	-	125
Tipe 3	330 x 330 x 90	4	22	-	125	22	-	125

Tipe 4	330 x 480 x 100	6	22	-	100	22	-	100
Tipe 5	540 x 900 x 130	15	25	-	100	25	-	90

5.2. Saran

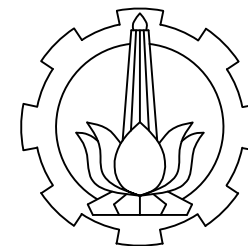
Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Beban yang digunakan dapat dioptimasi dan disesuaikan agar mendapat dimensi struktur yang lebih efisien
2. Analisis terhadap struktur dapat lebih didetailkan kembali agar hasil desain lebih optimal dan menghasilkan struktur yang lebih daktail
3. Penggunaan anturan dalam perencanaan harus disesuaikan dengan kondisi indonesia dengan mempertimbangkan aspek-aspek terkait.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: BSNI.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSNI.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSNI.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG). Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). Peta Hazard Gempa Indonesia. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Wahyudi, H. (t.thn.). Daya Dukung Pondasi Dalam. Surabaya.



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

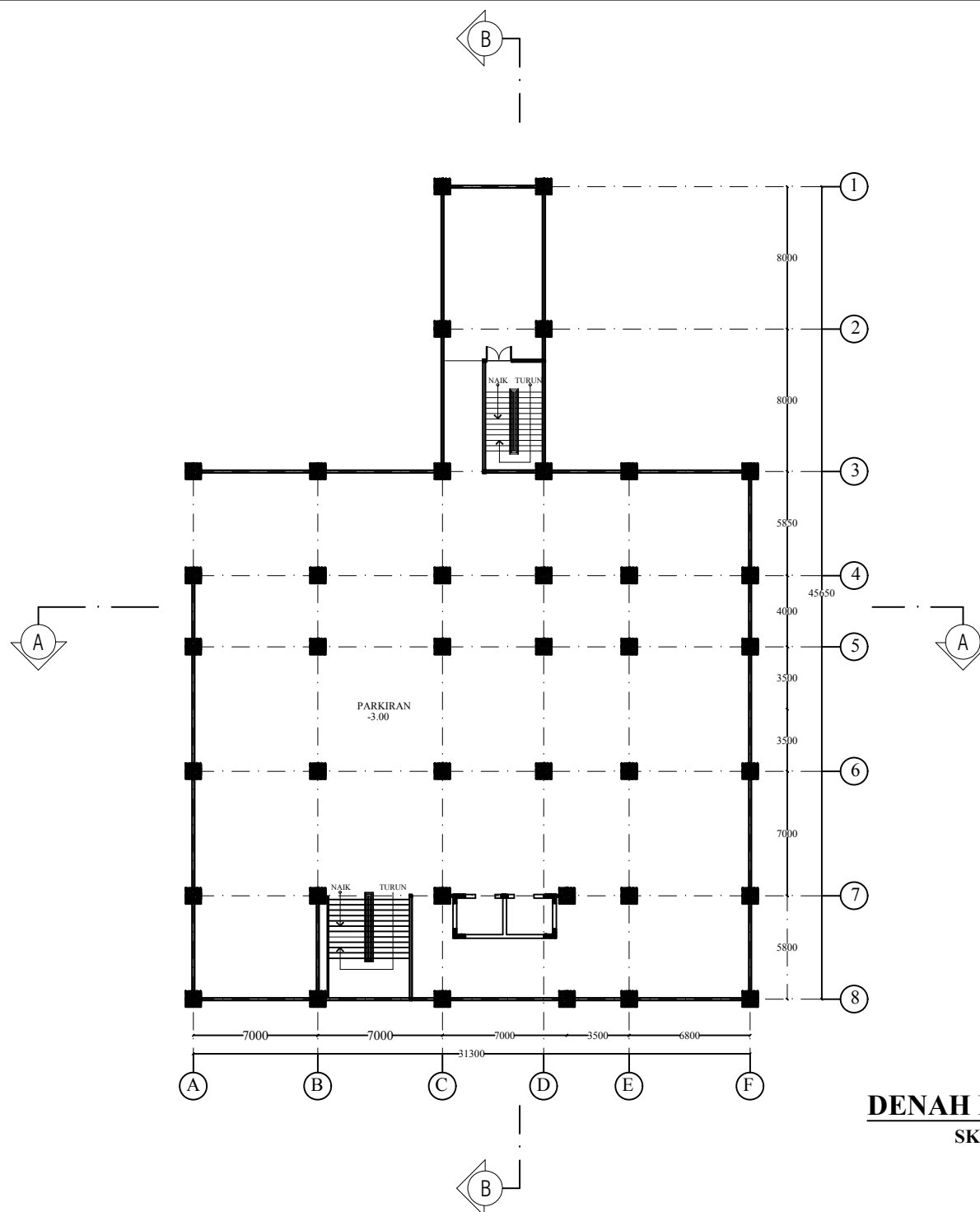
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

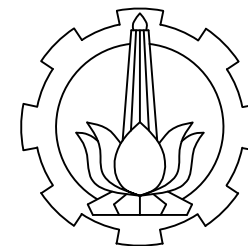
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	01	11



DENAH LT. GROUND
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

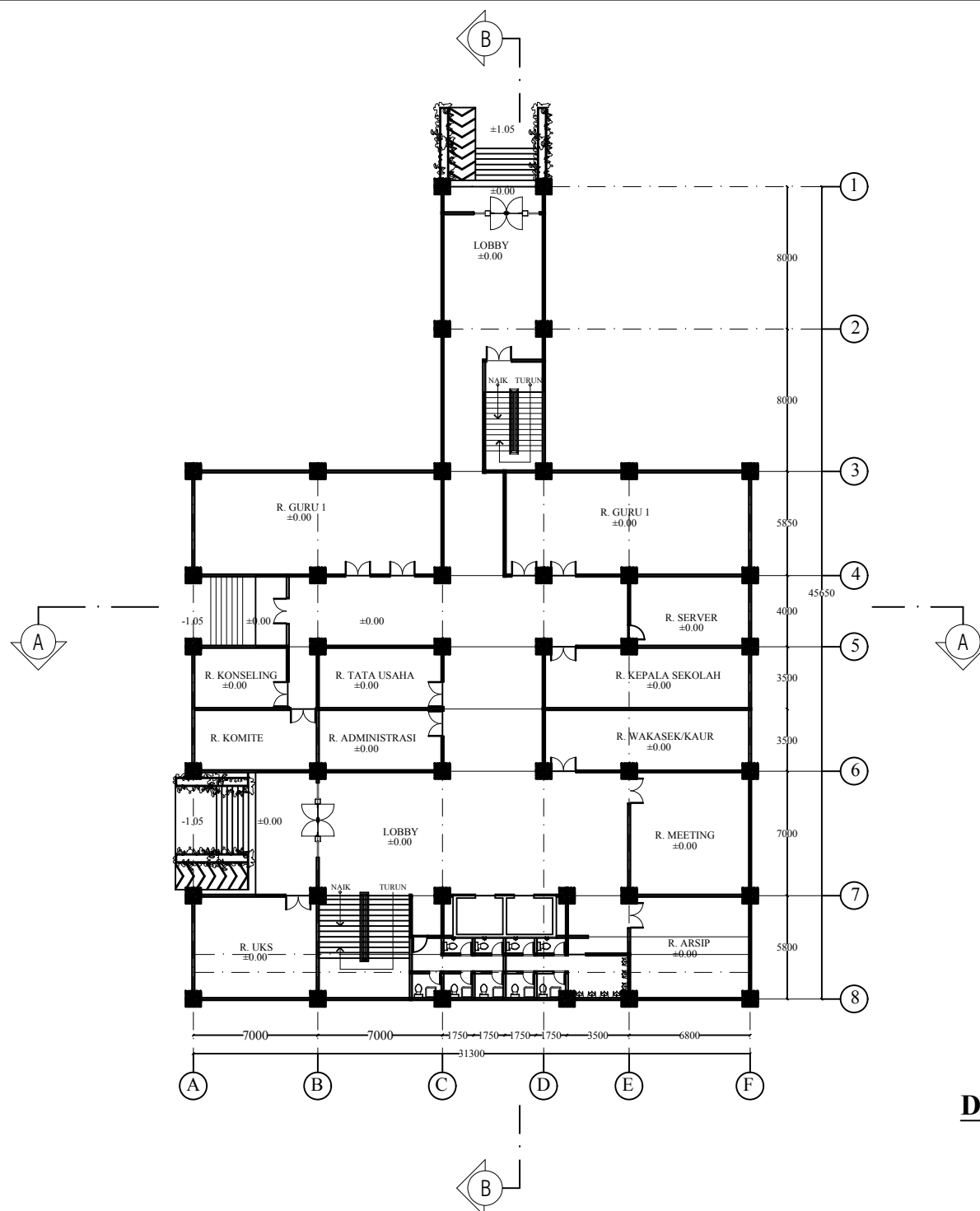
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

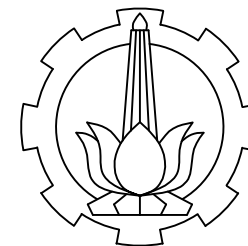
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	02	11



DENAH LT. 1
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

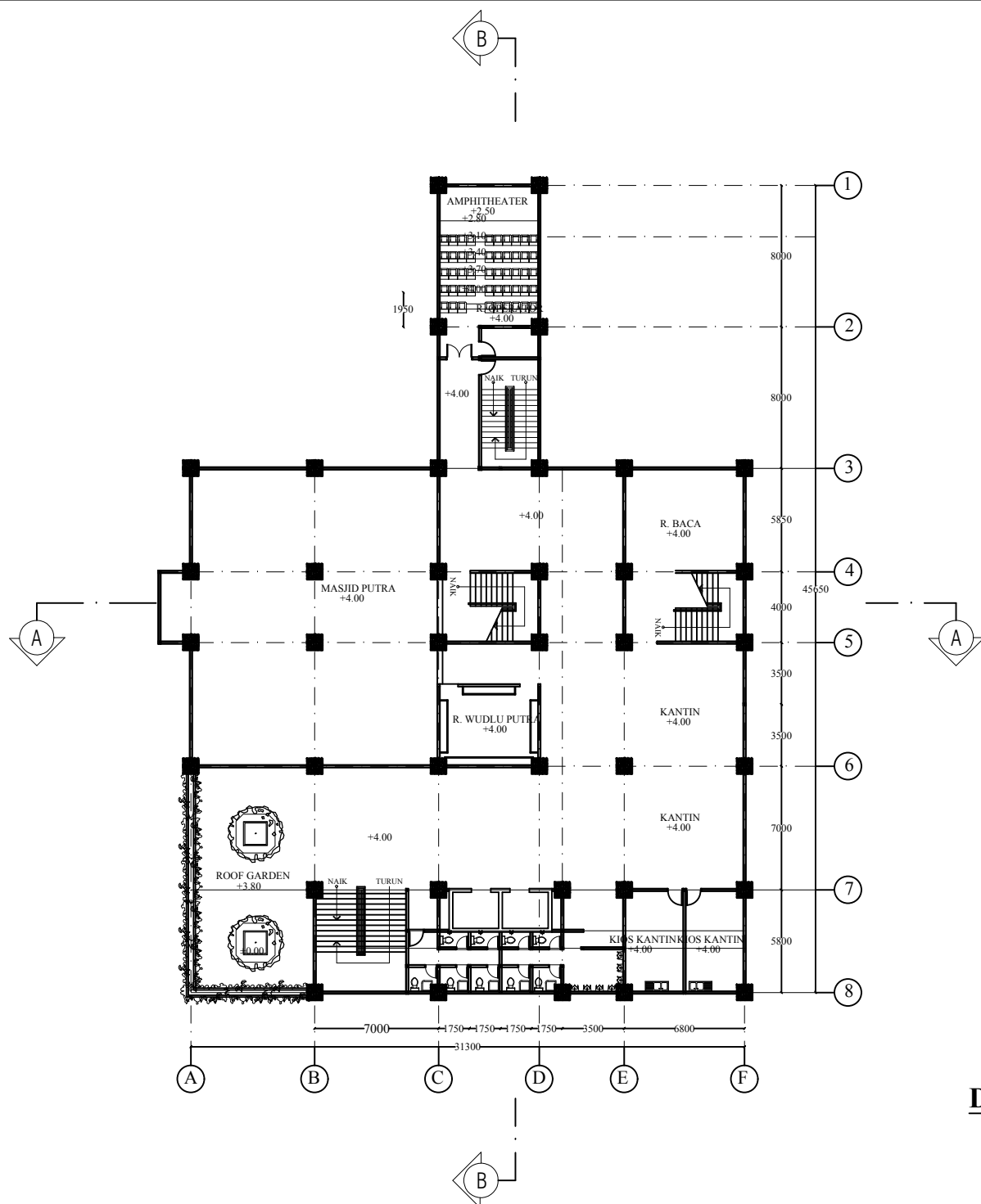
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

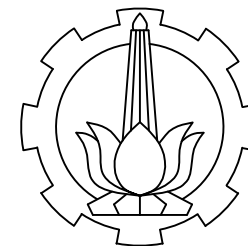
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	03	11



DENAH LT. 2
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

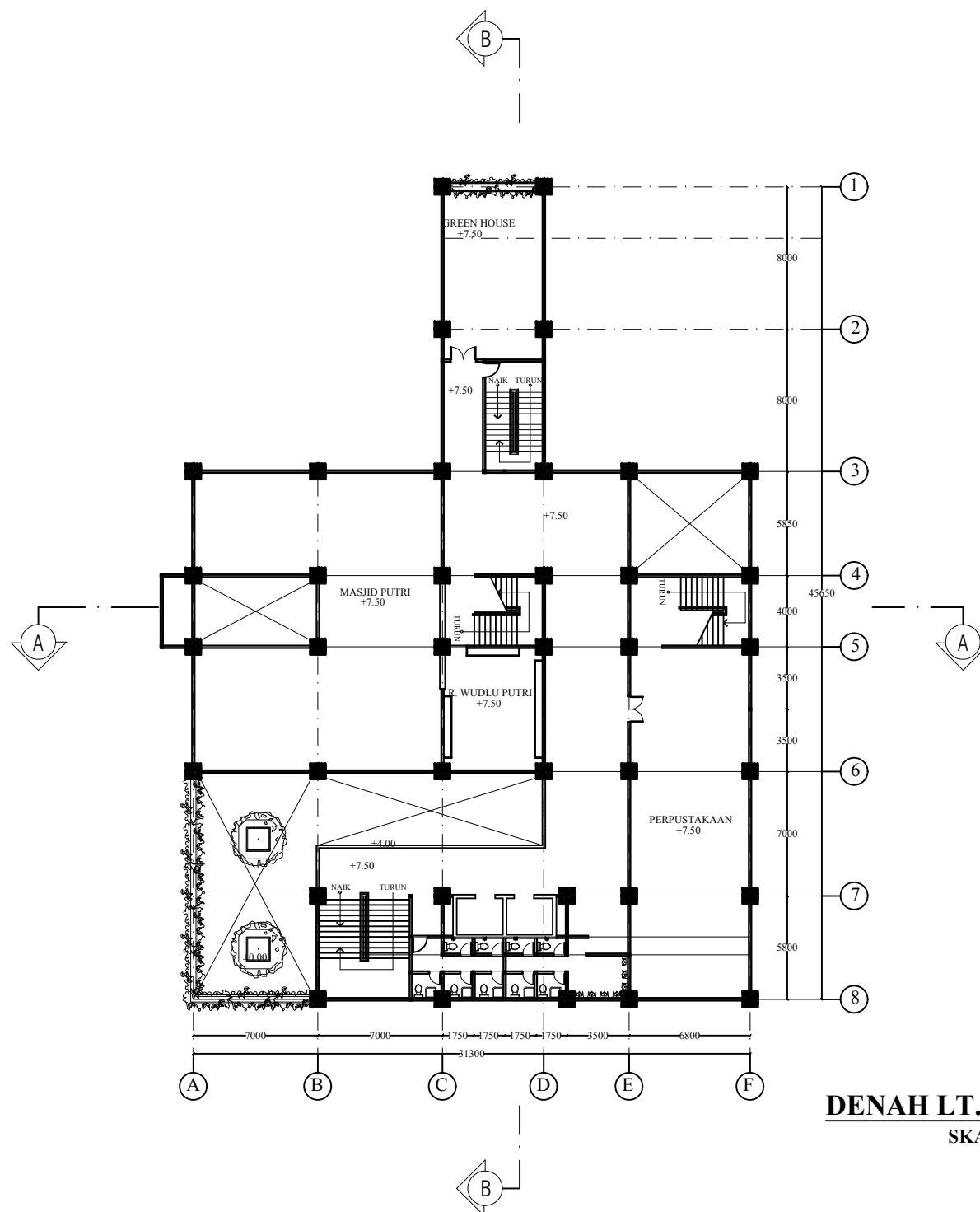
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

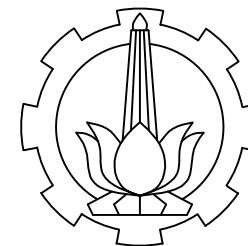
Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	04	11



DENAH LT. 2 MEZZANINE

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

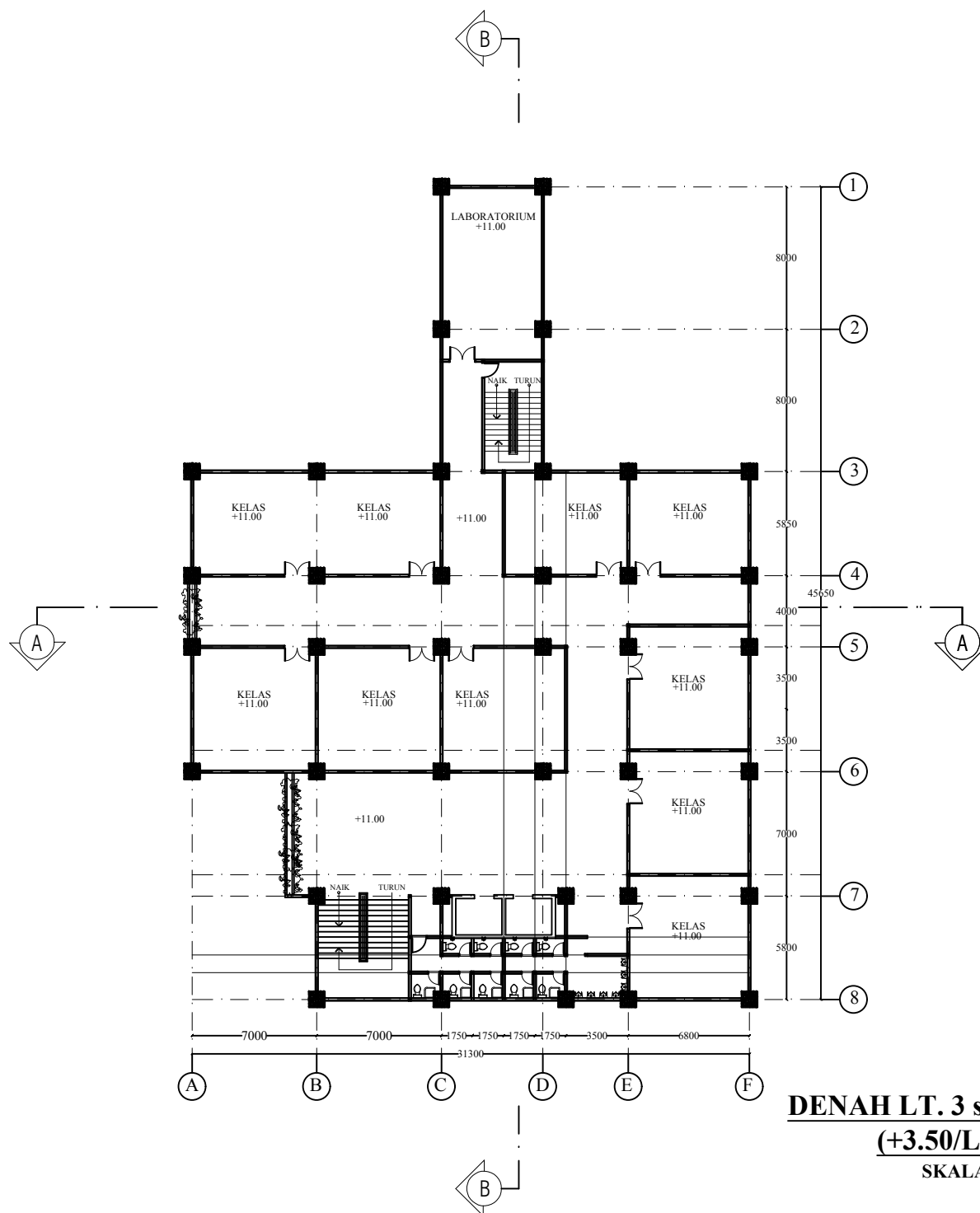
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

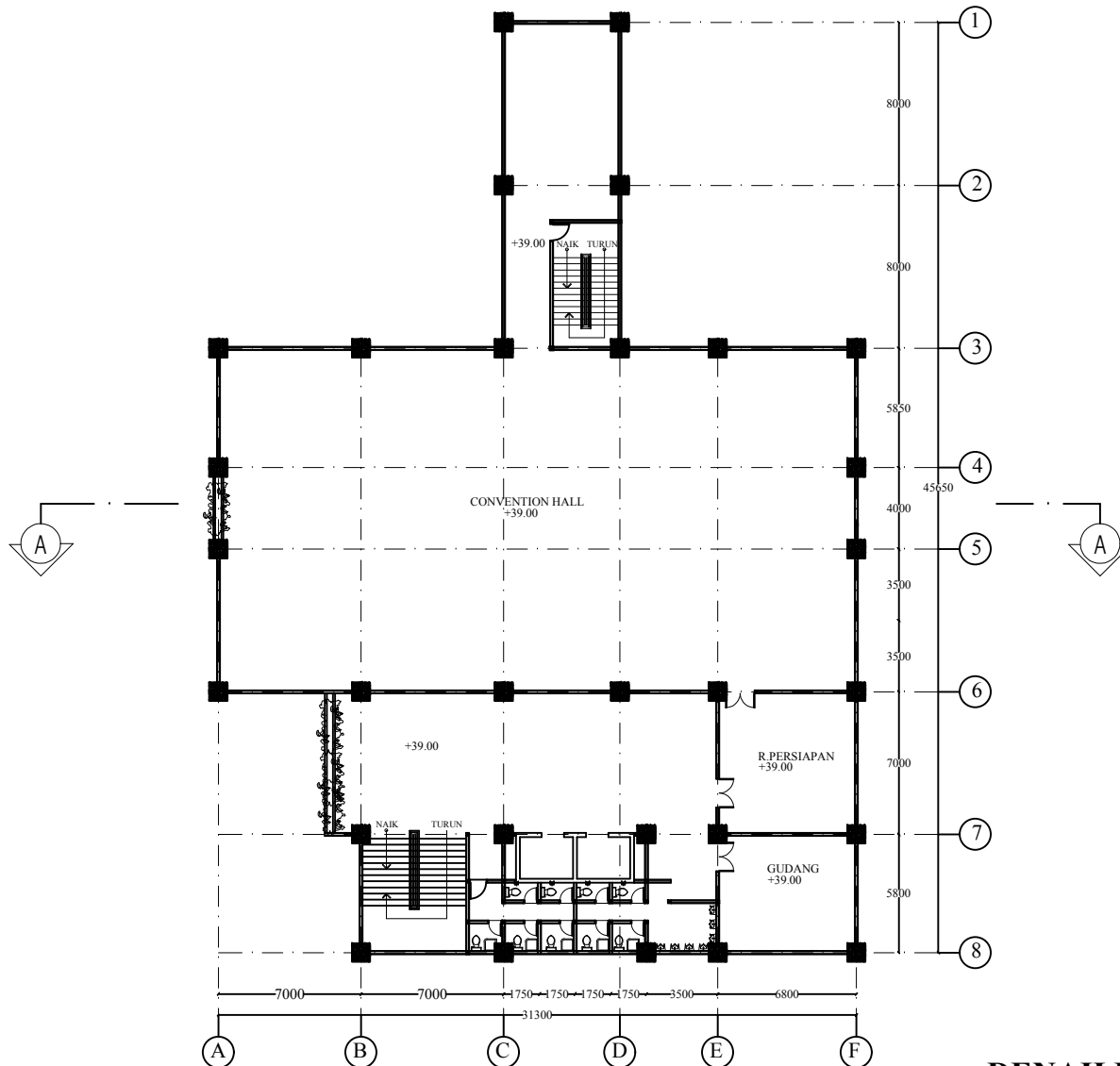
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

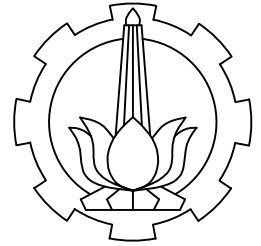
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	05	11



DENAH LT. 3 s/d 11 TIPIKAL
(+3.50/LANTAI)
SKALA 1:350



DENAH LT. 12
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

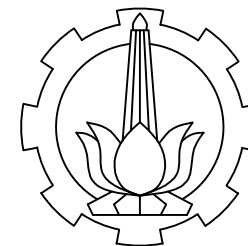
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	06	11



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

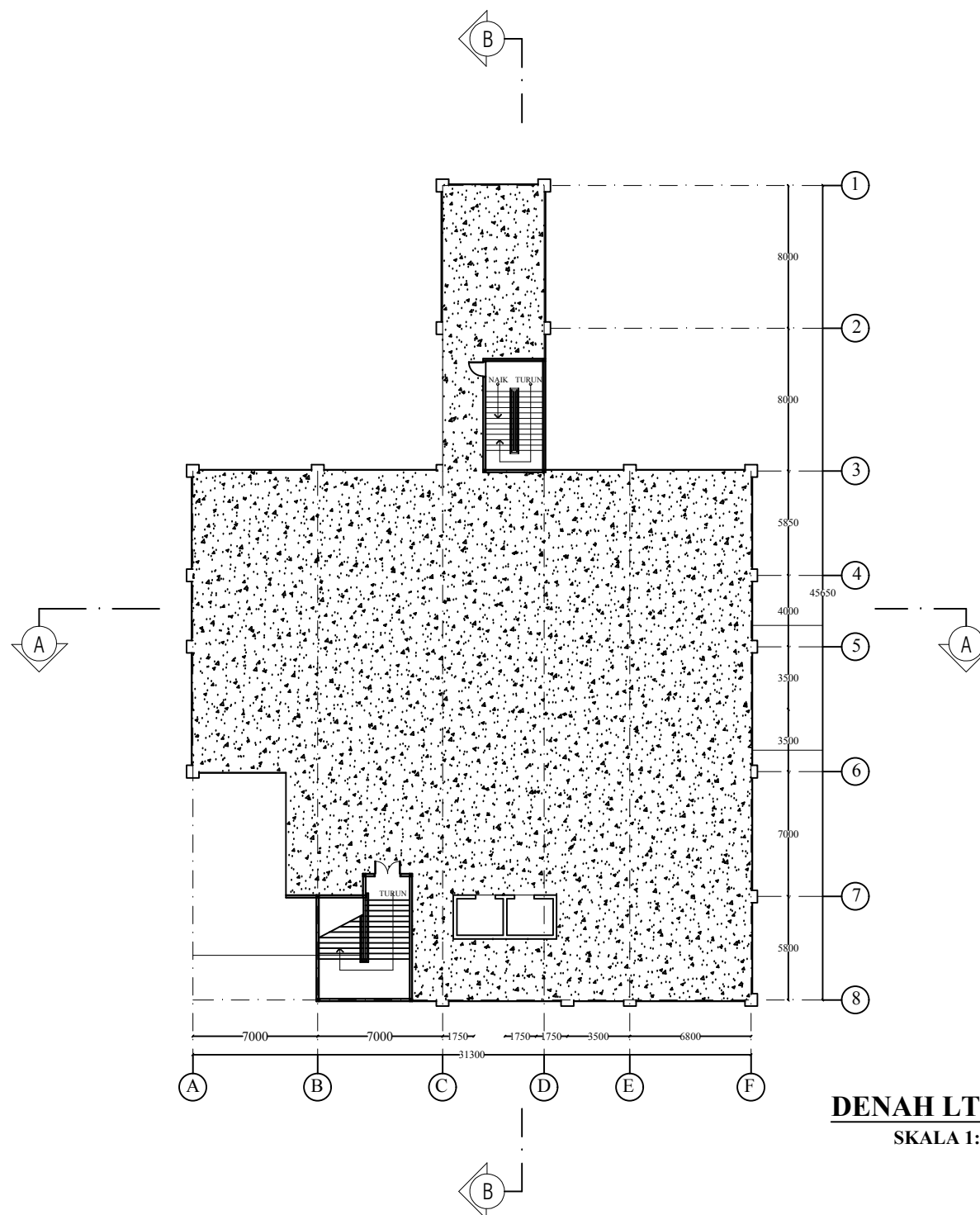
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

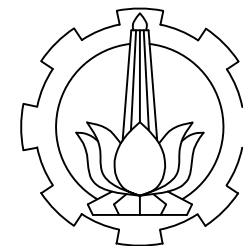
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	07	11



DENAH LT. ATAP
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

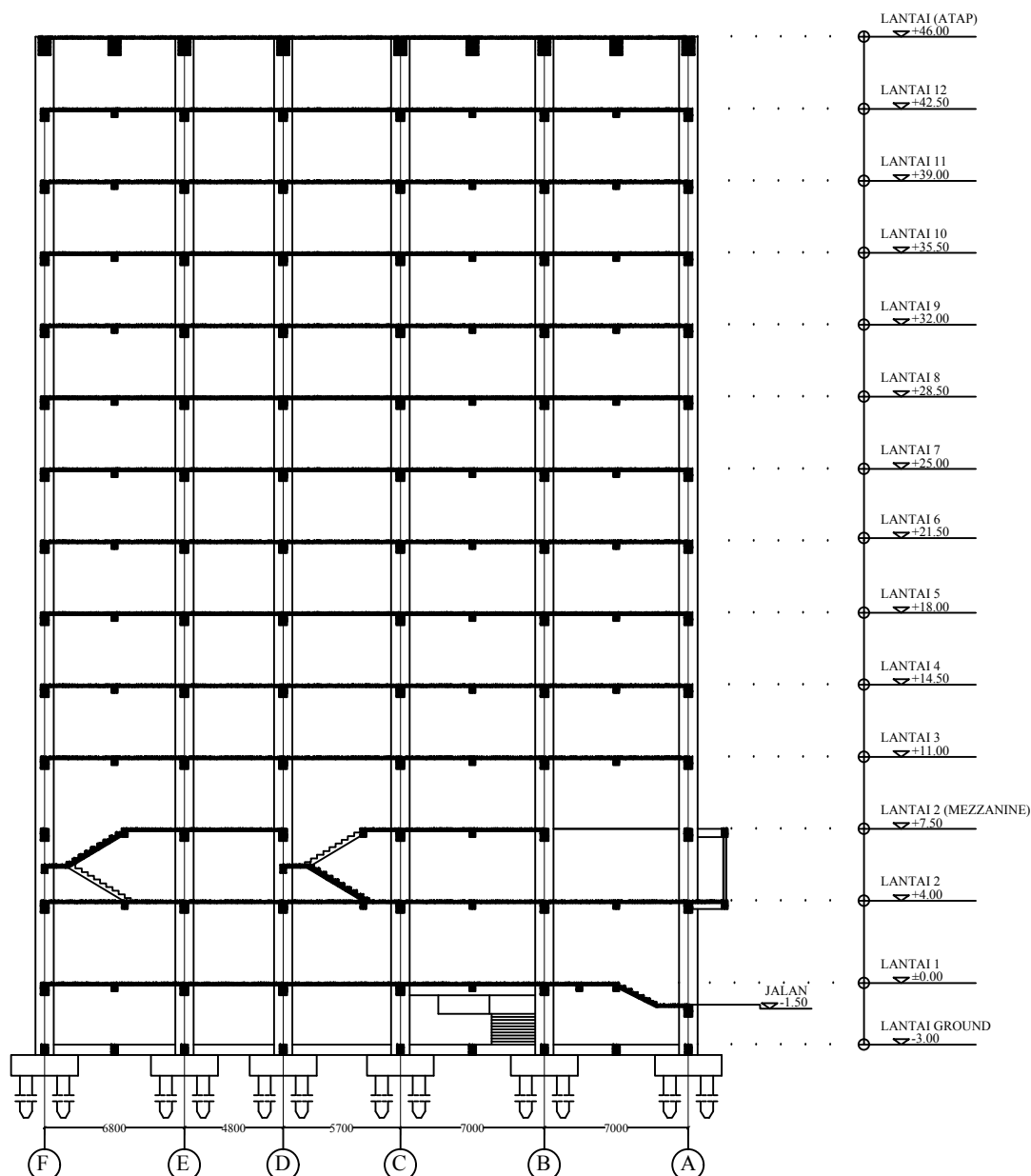
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

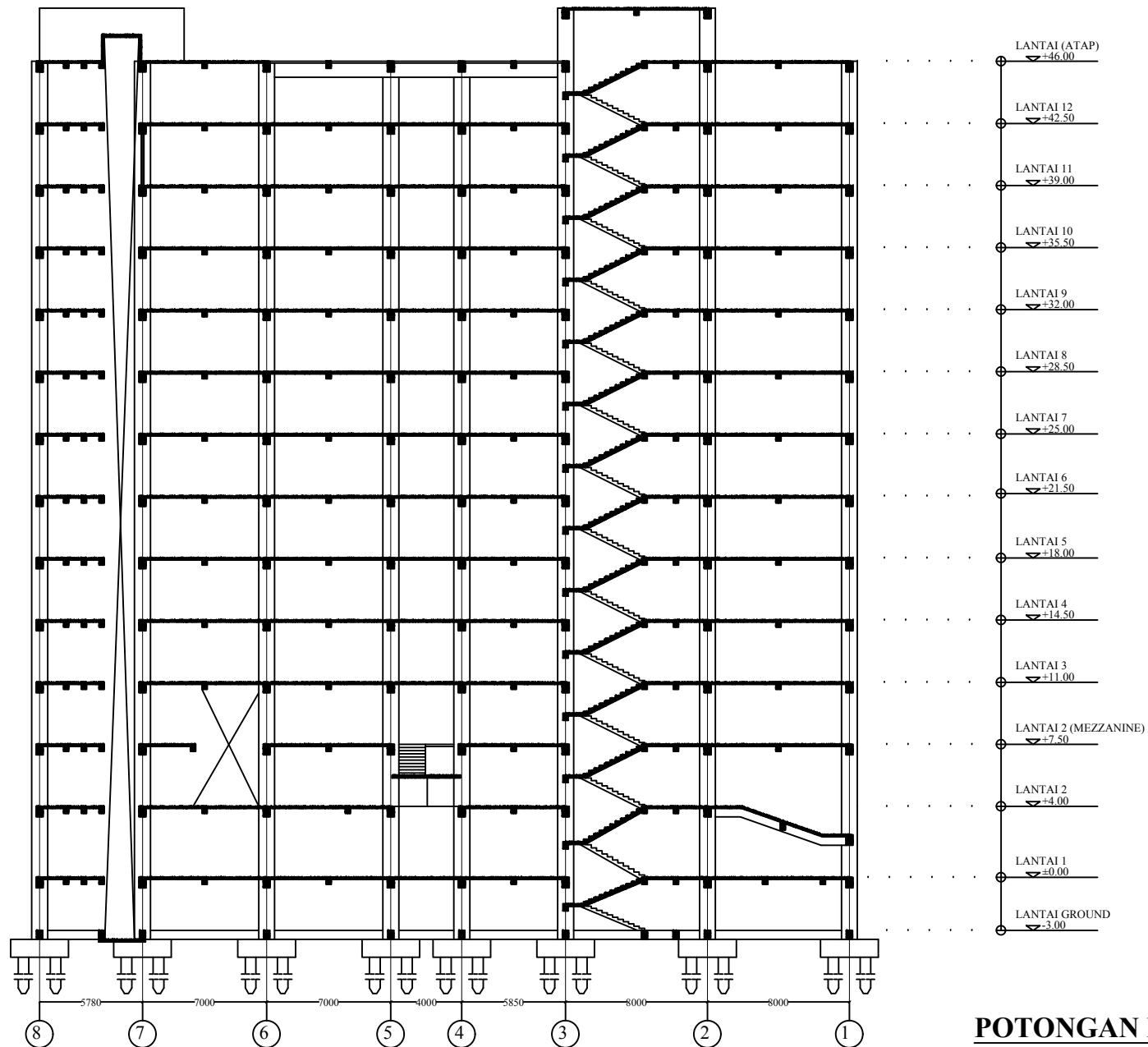
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

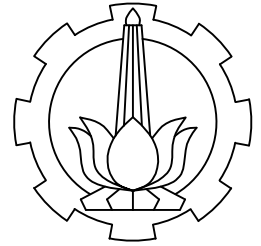
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	08	11



POTONGAN A-A
SKALA 1:350



POTONGAN B-B
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

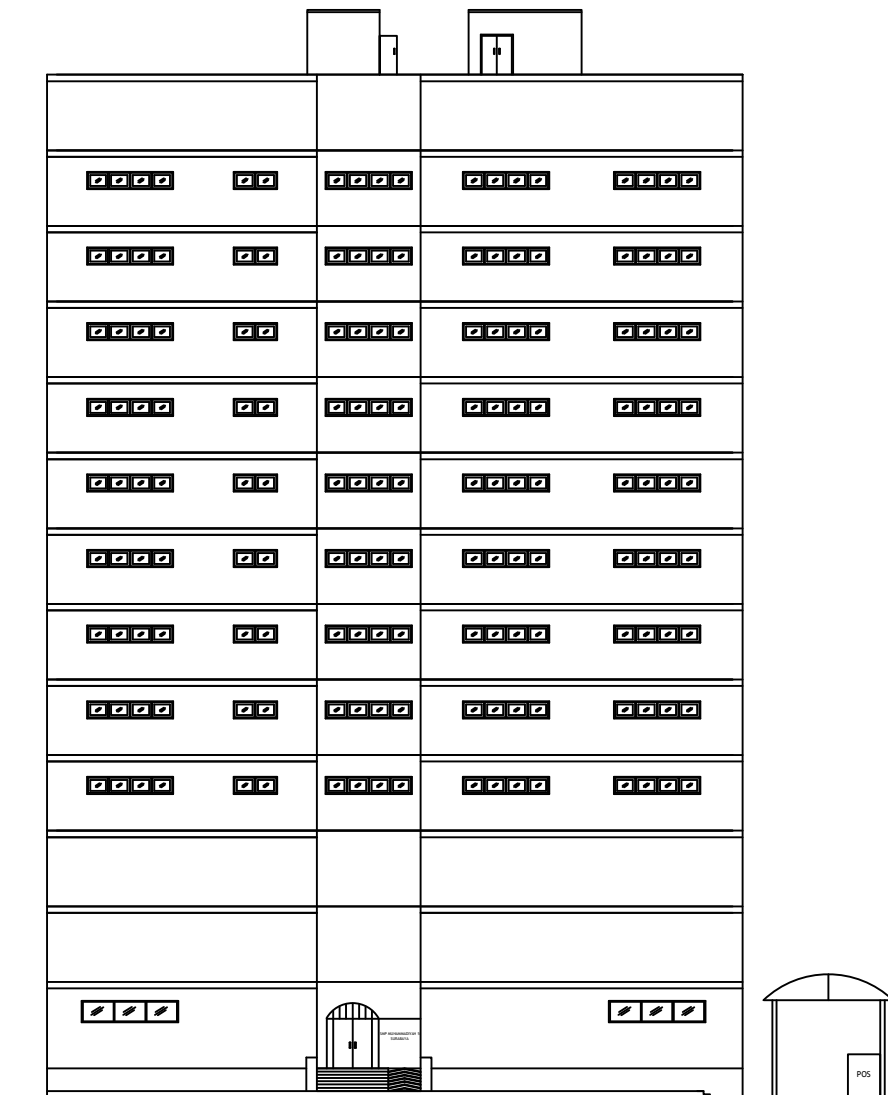
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

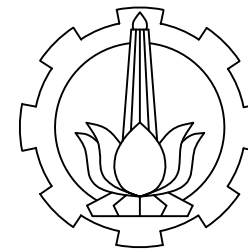
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	09	11



TAMPAK DEPAN
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

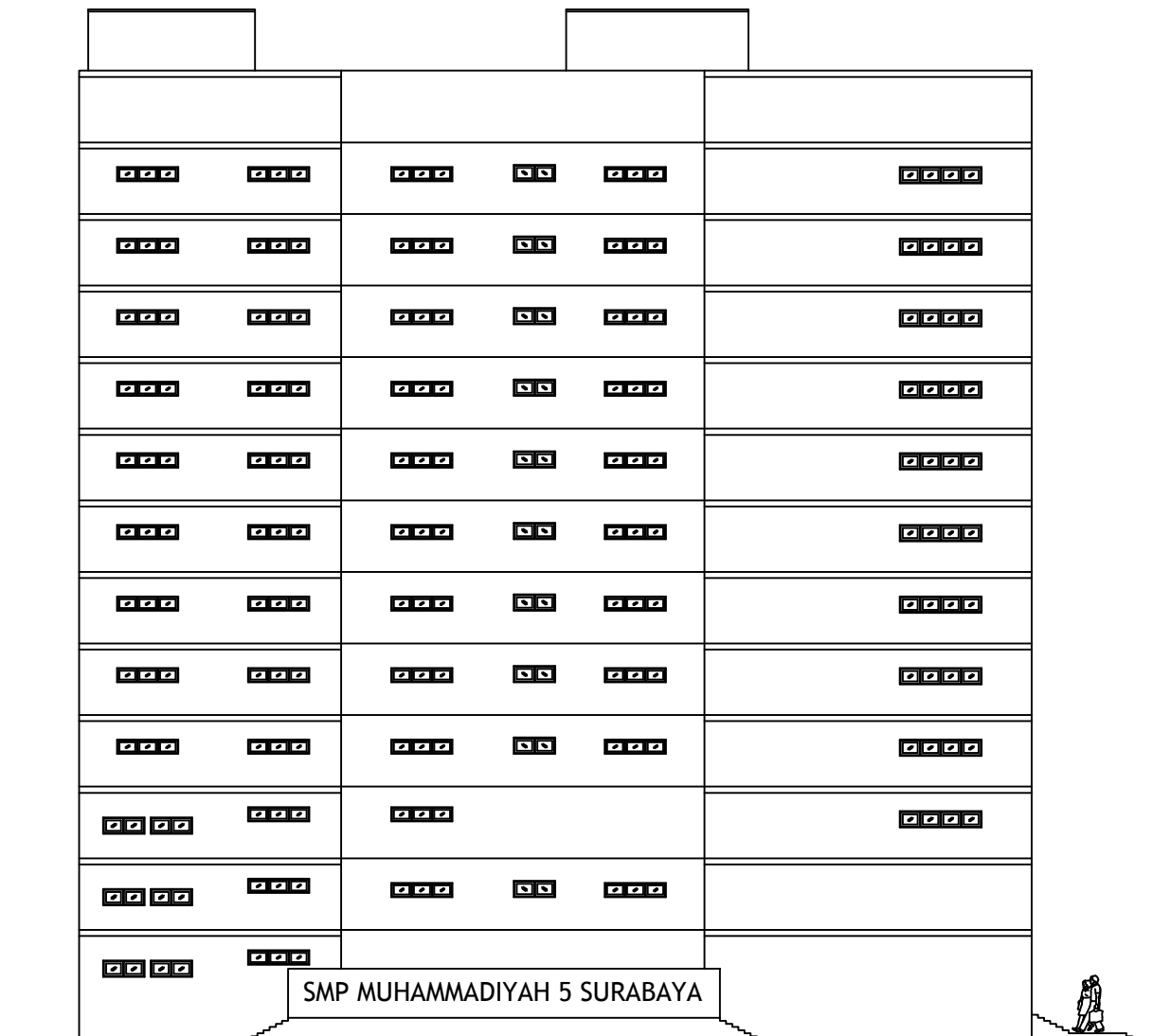
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

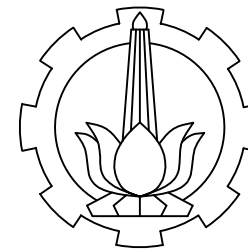
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	10	11



TAMPAK SAMPING
SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

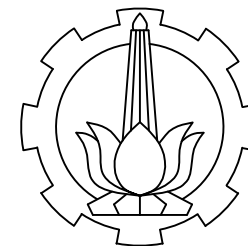
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	11	11



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

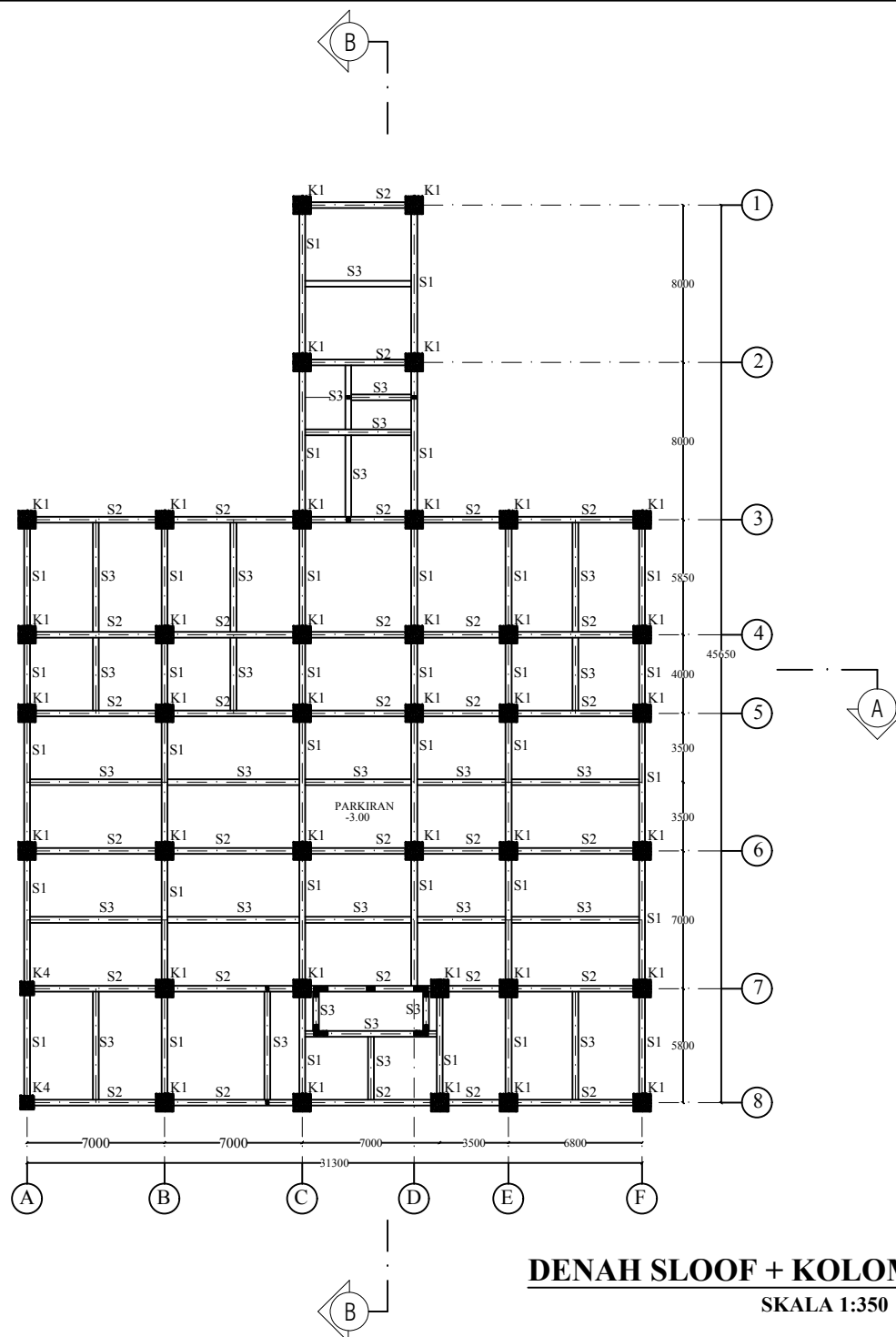
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

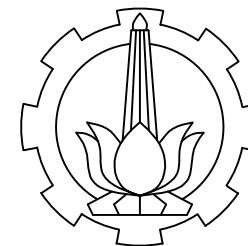
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	01	41



DENAH SLOOF + KOLOM LT. GROUND

SKALA 1:350

TIPE	DIMENSI
S1	350 x 500
S2	350 x 500
S3	350 x 500
K4	700 x 700
K1	900 x 900



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

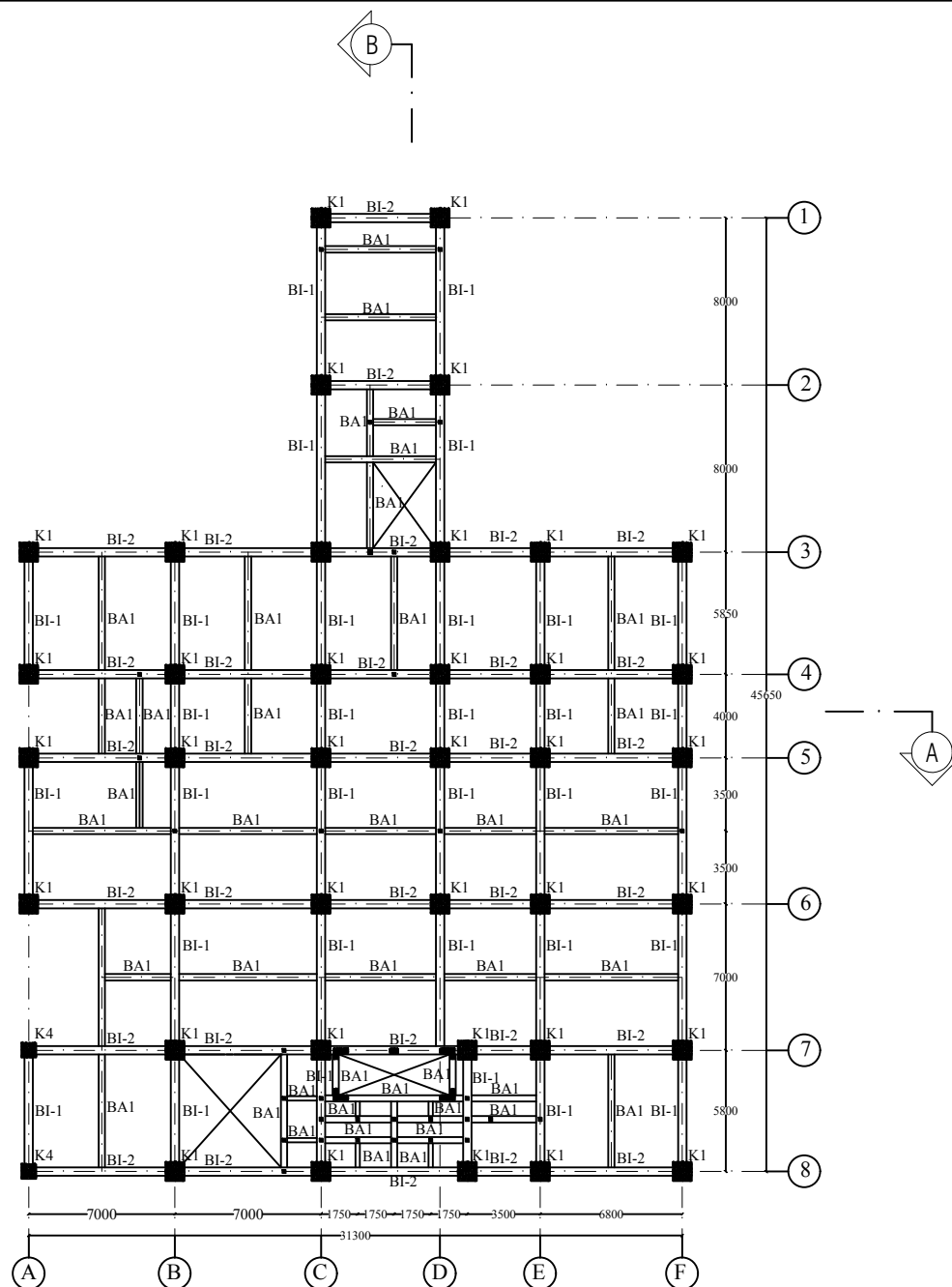
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

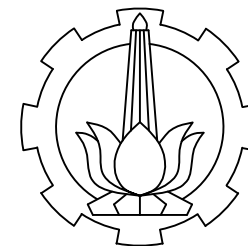
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	02	41



DENAH BALOK + KOLOM LT. 1

SKALA 1:350

TIPE	DIMENSI
BI-1	400 x 700
BI-2	400 x 700
BA1	300 x 400
K4	700 x 700
K1	900 x 900



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

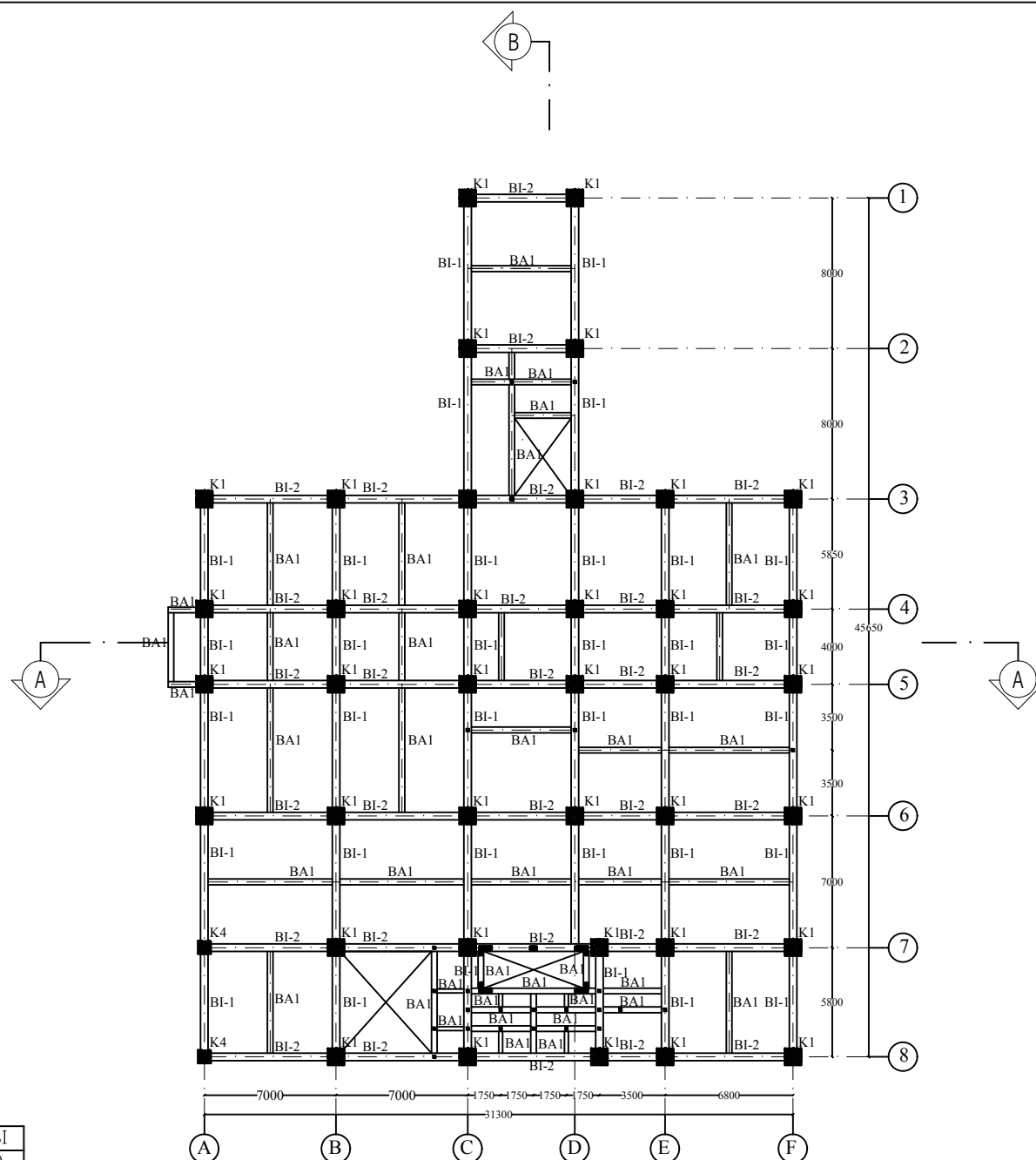
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

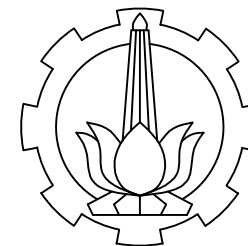
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	03	41



TIPE	DIMENSI
BI-1	400 x 700
BI-2	400 x 700
BA1	300 x 400
K4	700 x 700
K1	900 x 900

DENAH BALOK + KOLOM LT. 2

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

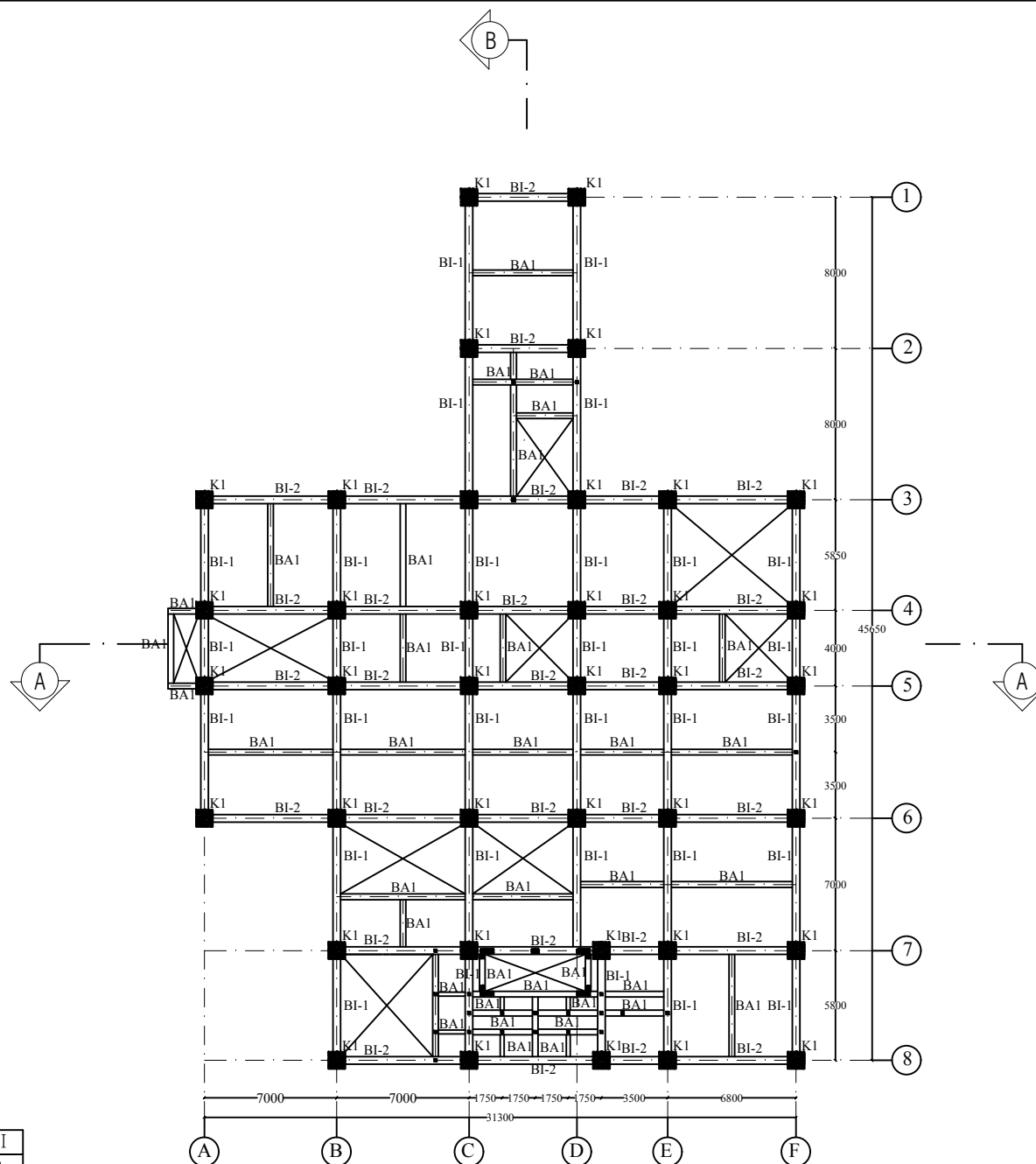
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

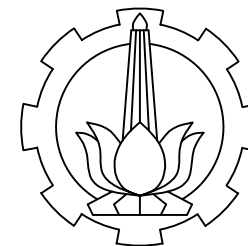
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	04	41



TIPE	DIMENSI
BI-1	400 x 700
BI-2	400 x 700
BA1	300 x 400
K1	900 x 900

DENAH BALOK + KOLOM LT. 2 MEZZANINE

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

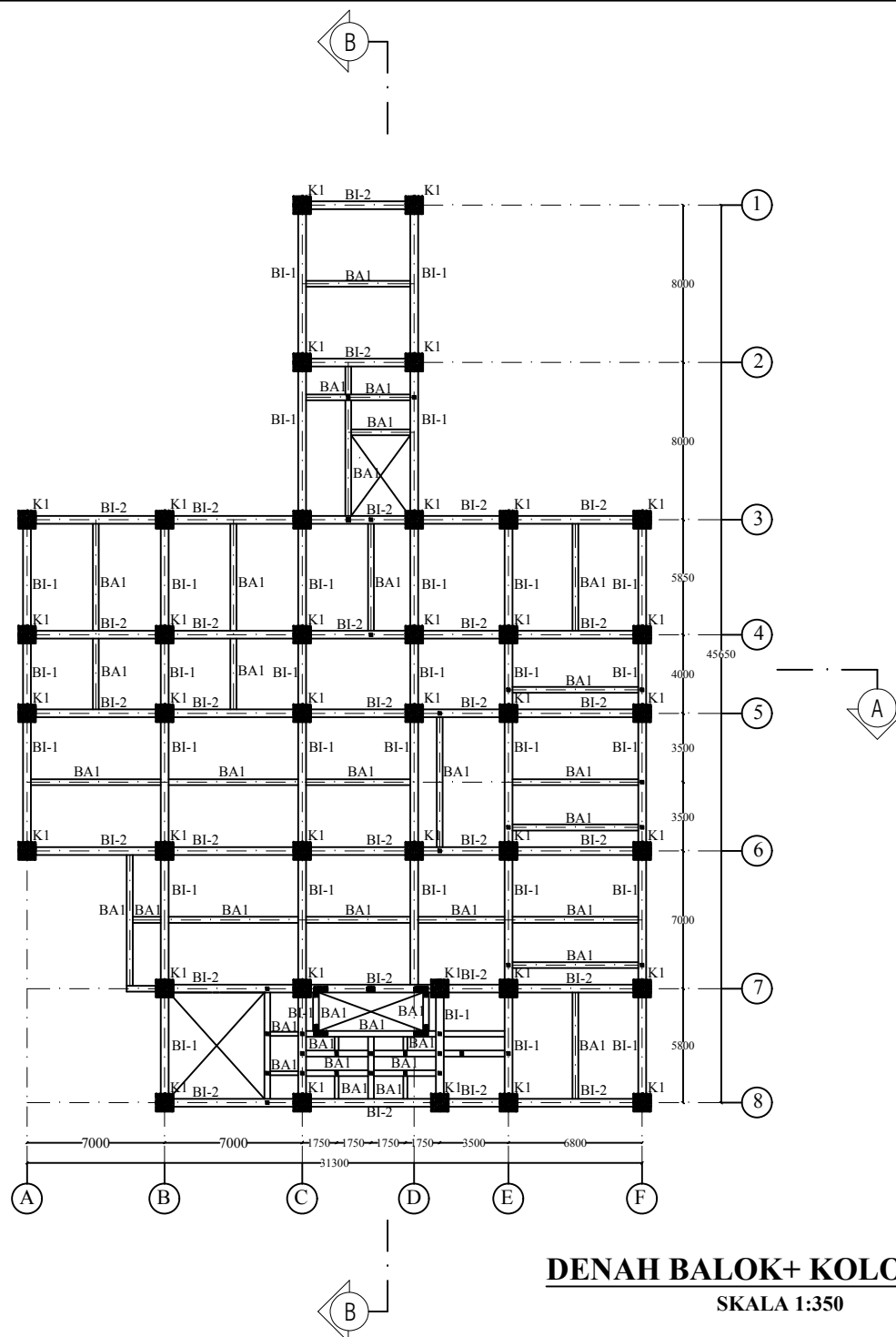
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

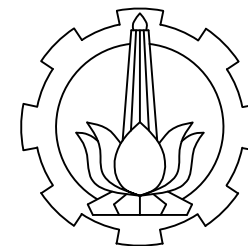
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	05	41



TIPE	DIMENSI
BI-1	400 x 700
BI-2	400 x 700
BA1	300 x 400
K1	900 x 900

DENAH BALOK+ KOLOM LT. 3

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

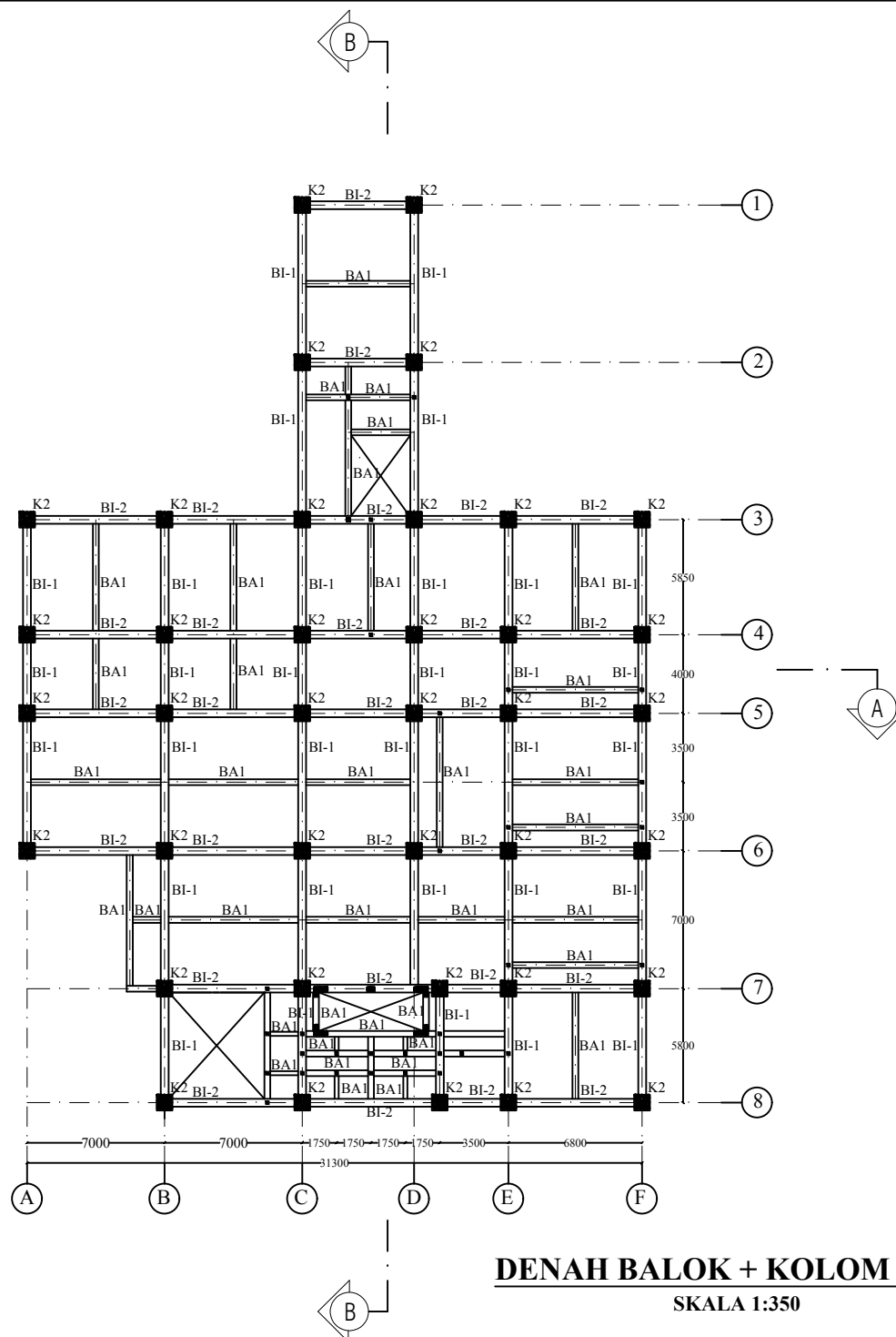
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

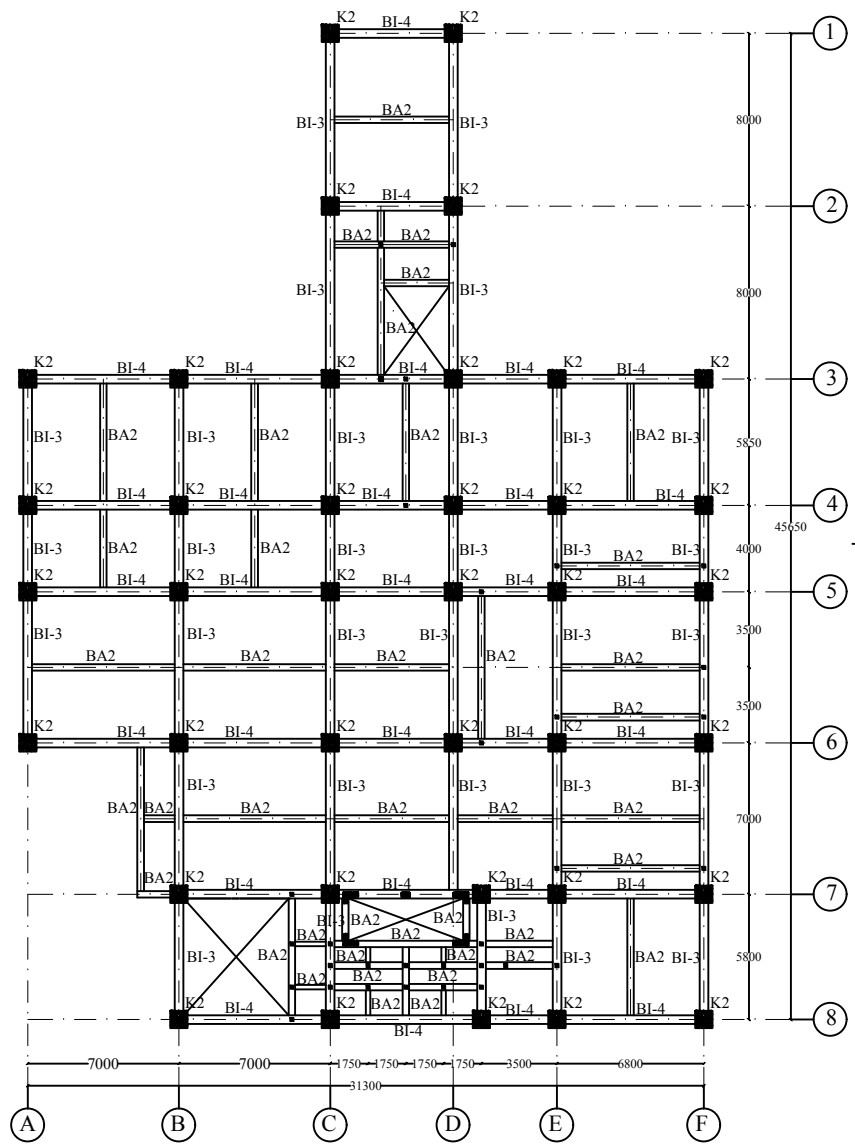
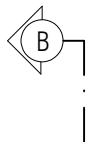
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	06	41



TIPE	DIMENSI
BI-1	400 x 700
BI-2	400 x 700
BA1	300 x 400
K2	800 x 800

DENAH BALOK + KOLOM LT. 4

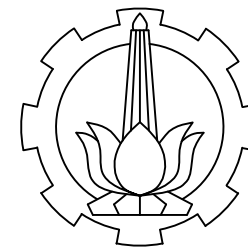
SKALA 1:350



TIPE	DIMENSI
BI-3	400 x 700
BI-4	400 x 700
BA2	300 x 400
K2	800 x 800

DENAH BALOK + KOLOM LT. 5 s/d 8

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

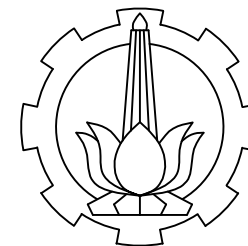
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	07	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

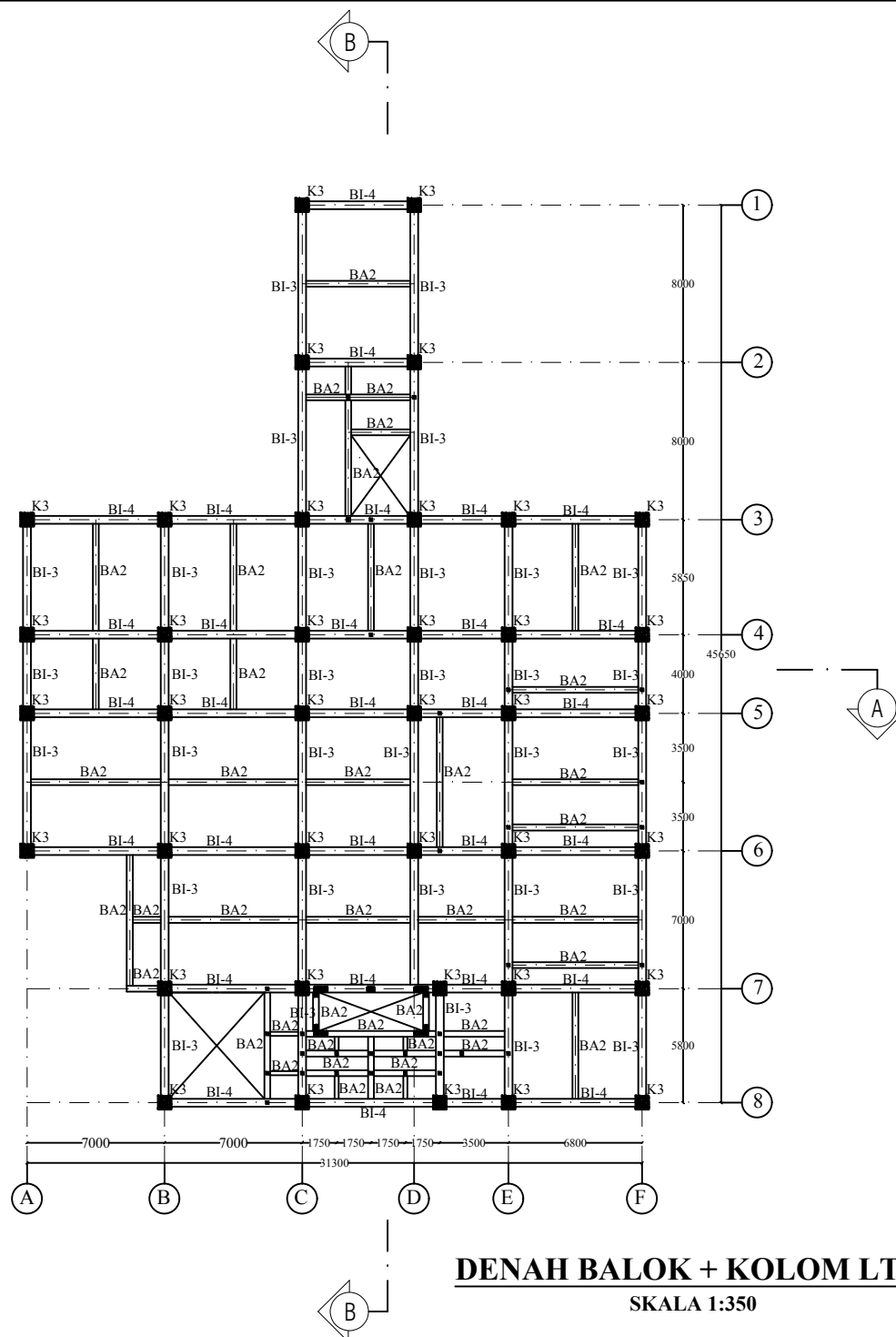
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

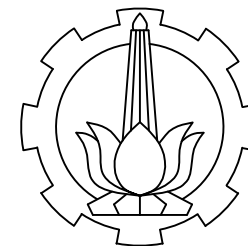
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	08	41



DENAH BALOK + KOLOM LT. 9

SKALA 1:350

TIPE	DIMENSI
BI-3	400 x 700
BI-4	400 x 700
BA2	300 x 400
K3	700 x 700



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

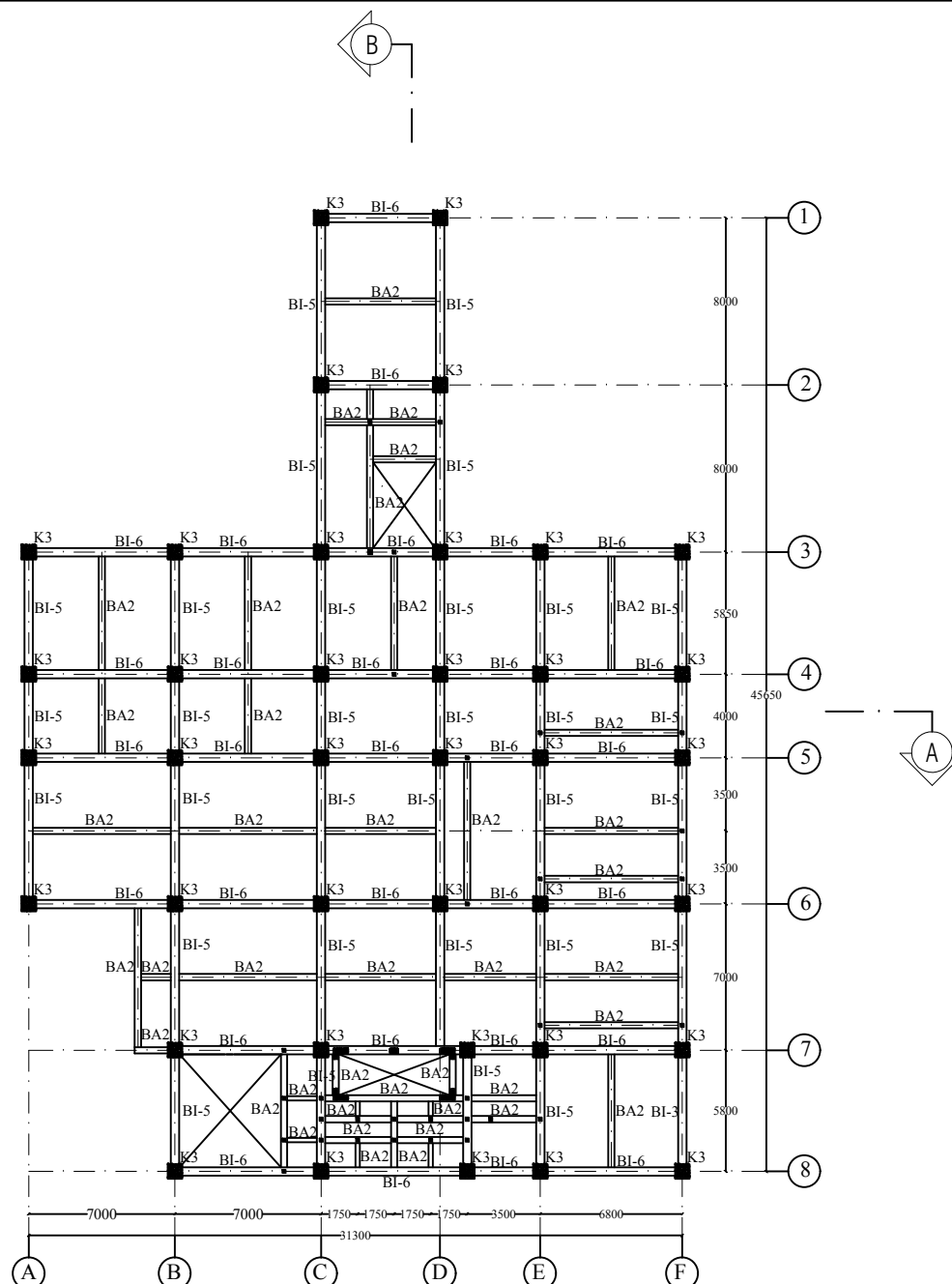
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

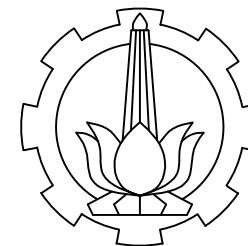
Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	09	41



DENAH BALOK + KOLOM
LT. 10 s/d 11
SKALA 1:350

TIPE	DIMENSI
BI-5	400 x 700
BI-6	400 x 700
BA2	300 x 400
K3	700 x 700



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

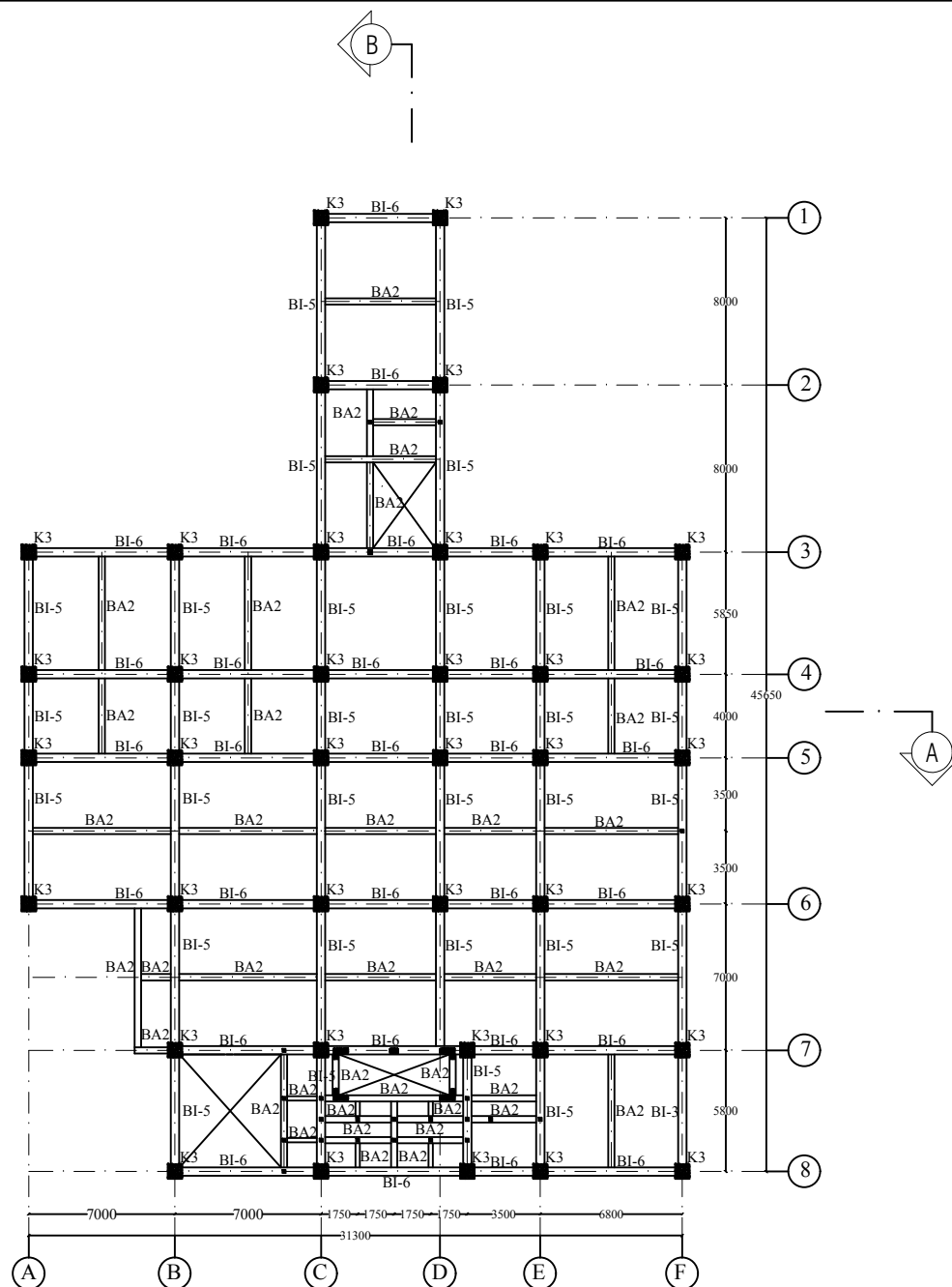
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

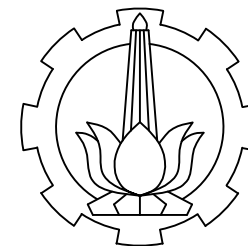
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	10	41



DENAH BALOK + KOLOM LT. 12

SKALA 1:350

TIPE	DIMENSI
BI-5	400 x 700
BI-6	400 x 700
BA2	300 x 400
K3	700 x 700



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

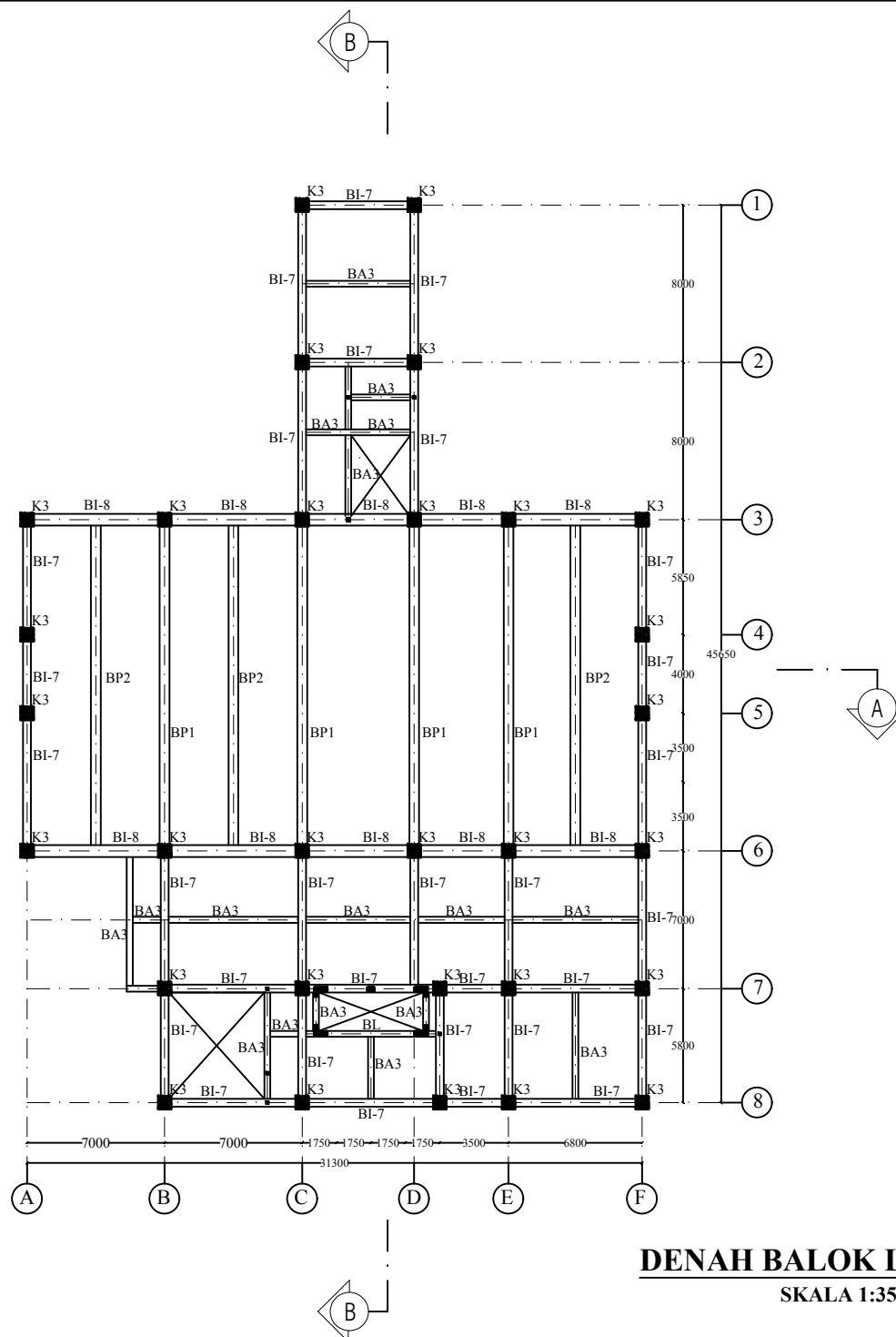
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

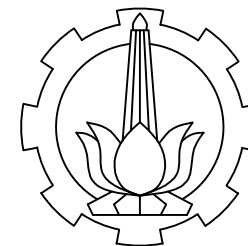
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	11	41



TIPE	DIMENSI
BI-7	400 x 700
BI-8	500 x 800
BP	500 x 800
BA3	300 x 400
K3	700 x 700

DENAH BALOK LT. (ATAP)

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

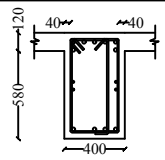
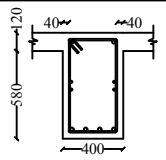
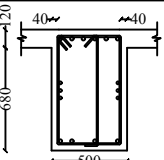
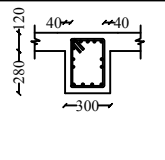
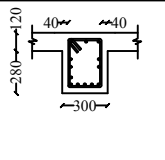
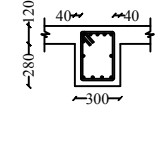
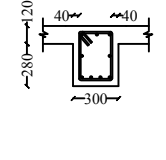
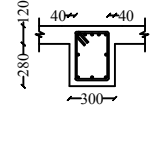
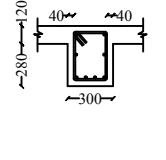
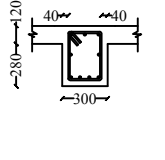
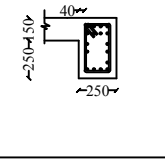
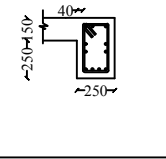
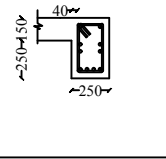
Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	12	41

KODE	S1		S2		S3	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	350 x 500	350 x 500	350 x 500	350 x 500	350 x 500	350 x 500
TULANGAN ATAS	7D19	7D19	8D19	8D19	4D19	4D19
TULANGAN BAWAH	7D19	7D19	8D19	8D19	4D19	4D19
TULANGAN SAMPING	2D16	2D16	6D16	6D16	2D16	2D16
SENGKANG	3Ø10-100	3Ø10-150	3Ø10-95	3Ø10-125	Ø10-150	Ø10-200
KODE	BI-1		BI-2		BI-3	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700
TULANGAN ATAS	8D22	3D22	7D22	3D22	8D22	3D22
TULANGAN BAWAH	5D22	5D22	4D22	6D22	5D22	5D22
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D16	4D16	4D16	4D16
SENGKANG	3Ø10-100	3Ø10-150	3Ø10-90	3Ø10-200	3Ø10-100	3Ø10-150
KODE	BI-4		BI-5		BI-6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700
TULANGAN ATAS	7D22	3D22	7D22	3D22	6D22	3D22
TULANGAN BAWAH	4D22	5D22	4D22	5D22	4D22	4D22
TULANGAN SAMPING	4D16	4D16	4D16	4D16	4D16	4D16
SENGKANG	3Ø10-100	3Ø10-200	3Ø10-100	3Ø10-200	3Ø10-100	3Ø10-200

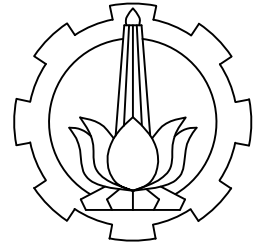
DETAIL PENULANGAN BALOK & SLOOF

SKALA 1:50

KODE	BI-7		BI-8		BA1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	400 x 700	400 x 700	500 x 800	500 x 800	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	7D22	2D22	6D22	3D22	6D16	3D16
TULANGAN BAWAH	4D22	4D22	4D22	6D22	4D16	6D16
TULANGAN SAMPING	4D16	4D16	6D19	6D19	4D13	4D13
SENGKANG	3Ø10-125	Ø10-150	3Ø10-125	3Ø10-200	Ø10-125	Ø10-150
KODE	BA2		BA3		BL	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	300 x 400	300 x 400	300 x 400	300 x 400	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	6D16	3D16	5D16	2D16	8D16	3D16
TULANGAN BAWAH	4D16	4D16	3D16	4D16	5D16	4D16
TULANGAN SAMPING	2D16	2D16	2D13	2D13	2D13	2D13
SENGKANG	Ø10-125	Ø10-150	Ø10-125	Ø10-150	Ø10-125	Ø10-150
KODE	BB1		BB2			
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN		
POTONGAN						
DIMENSI	250 x 400	250 x 400	250 x 400	250 x 400		
TULANGAN ATAS	8D16	3D16	6D19	2D19		
TULANGAN BAWAH	5D16	4D16	4D19	4D19		
TULANGAN SAMPING	4D16	4D16	4D19	4D19		
SENGKANG	Ø10-80	Ø10-150	3Ø10-125	3Ø10-200		

DETAIL PENULANGAN BALOK & SLOOF

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

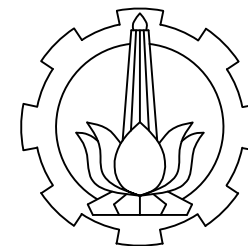
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	13	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

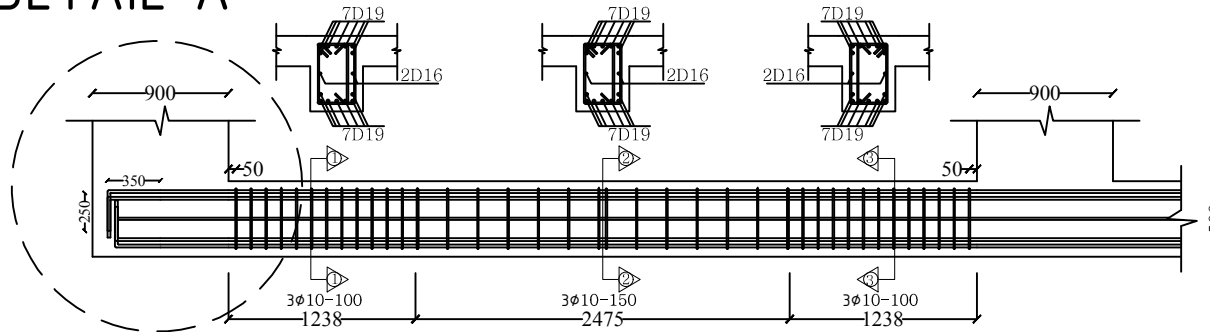
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	14	41

KODE	K1		K2		K3	
LOKASI	UJUNG	TENGAH	UJUNG	TENGAH	UJUNG	TENGAH
POTONGAN						
DIMENSI	900 x 900	900 x 900	800 x 800	800 x 800	700 x 700	700 x 700
TULANGAN UTAMA	20D25	20D25	20D25	20D25	20D25	20D25
SENGKANG	4Ø13-80	4Ø13-150	4Ø13-90	4Ø13-150	4Ø13-90	4Ø13-150
KODE	K4		KL1		KL2	
LOKASI	UJUNG	TENGAH	UJUNG	TENGAH	UJUNG	TENGAH
POTONGAN						
DIMENSI	700 x 700	700 x 700	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600
TULANGAN UTAMA	12D25	12D25	10D19	10D19	10D19	10D19
SENGKANG	4Ø13-90	4Ø13-150	Ø12-100	Ø12-150	Ø12-150	Ø12-150
			KL3		KL4	
			UJUNG	TENGAH	UJUNG	TENGAH
			400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600
			10D19	10D19	10D19	10D19
			Ø12-100	Ø12-150	Ø12-150	Ø12-150

DETAIL PENULANGAN KOLOM

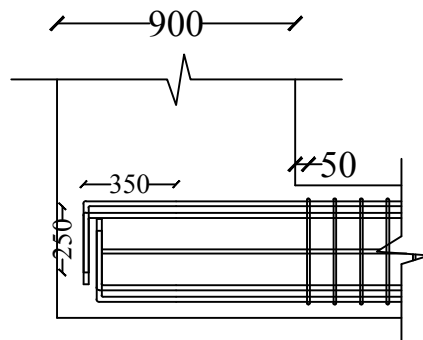
SKALA 1:50

DETAIL A



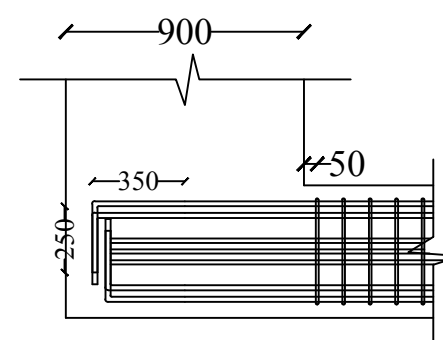
DETAIL PENULANGAN SLOOF S1

SKALA 1:50



DETAIL (A) PENYALURAN DAN KAIT S1

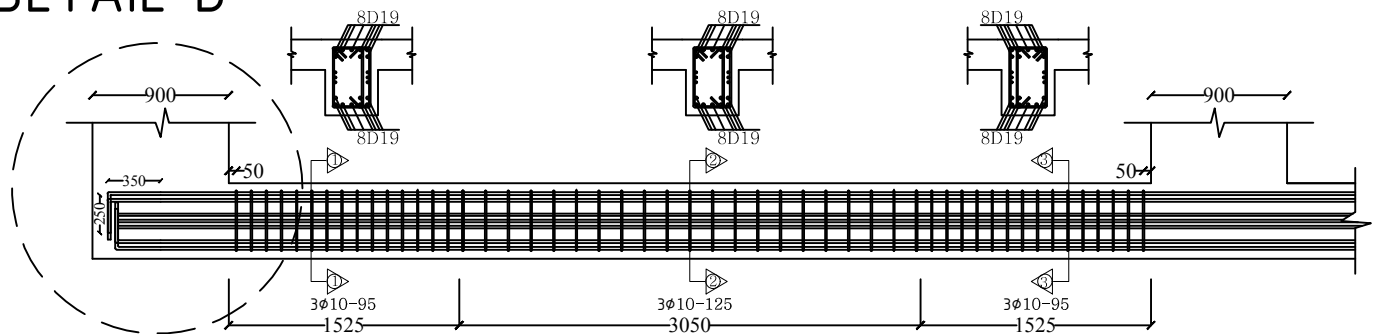
SKALA 1:35



DETAIL (B) PENYALURAN DAN KAIT S2

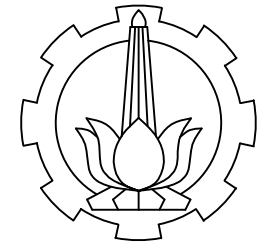
SKALA 1:35

DETAIL B



DETAIL PENULANGAN SLOOF S2

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

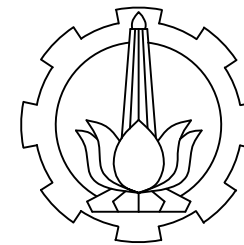
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	15	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

MAHASISWA

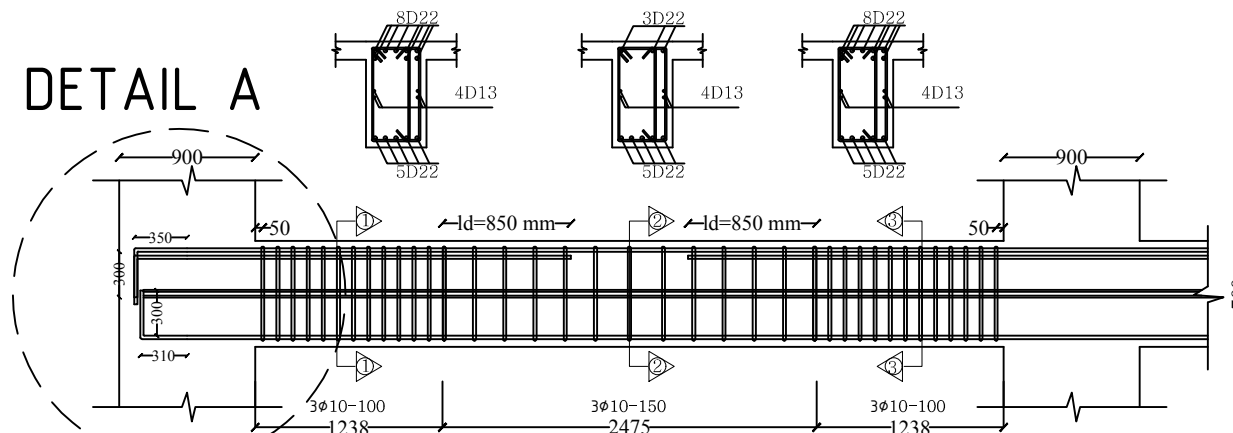
ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selutut Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

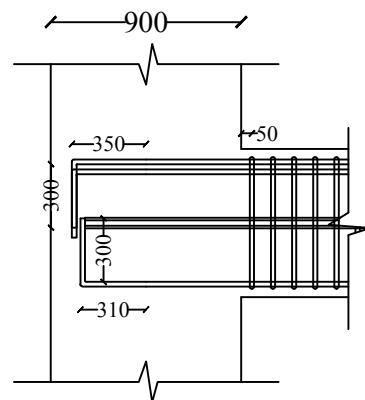
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	16	41

DETAIL A



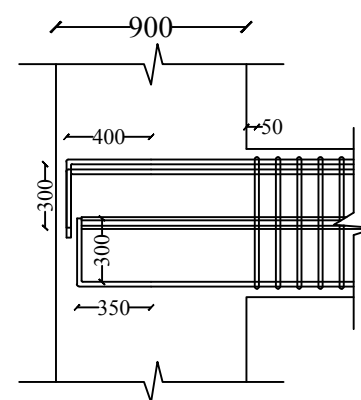
DETAIL PENULANGAN BALOK BI-1

SKALA 1:50



DETAIL (A) PENYALURAN DAN KAIT BI-1

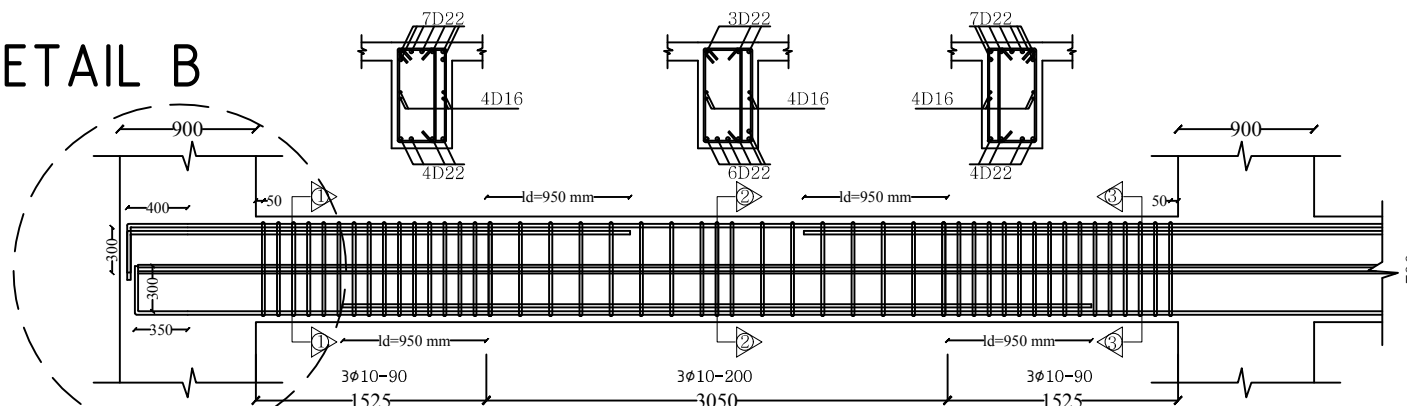
SKALA 1:40



DETAIL (B) PENYALURAN DAN KAIT BI-2

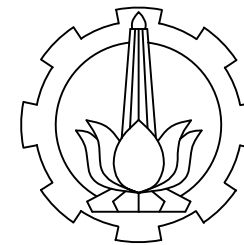
SKALA 1:40

DETAIL B



DETAIL PENULANGAN BALOK BI-2

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

MAHASISWA

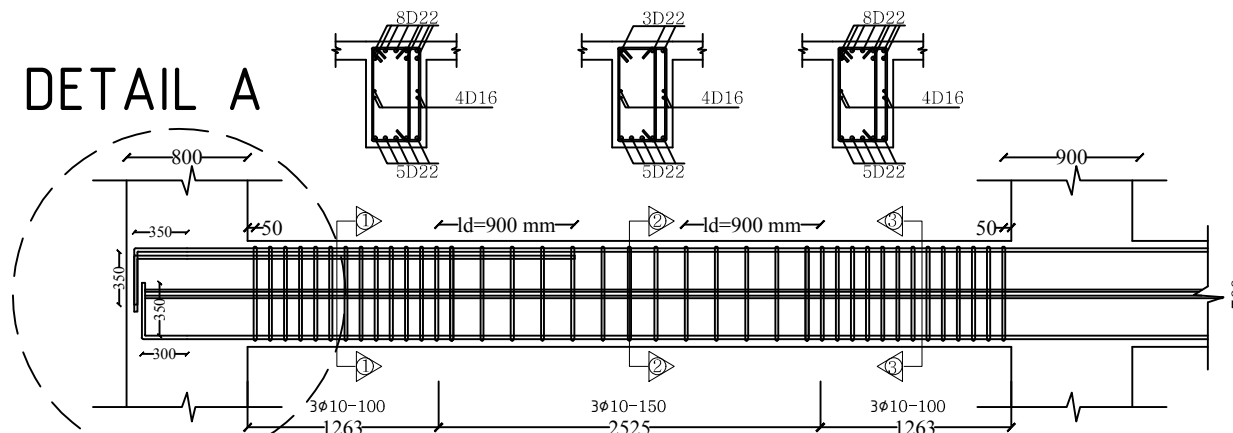
ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

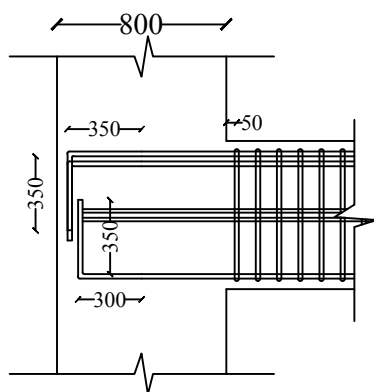
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	17	41

DETAIL A



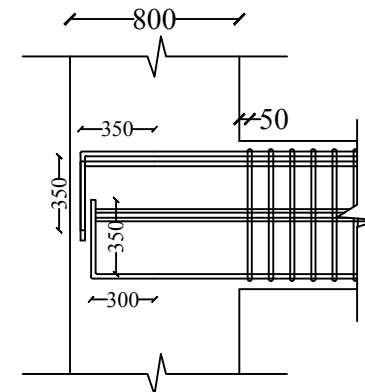
DETAIL PENULANGAN BALOK BI-3

SKALA 1:50



DETAIL (A) PENYALURAN DAN KAIT BI-3

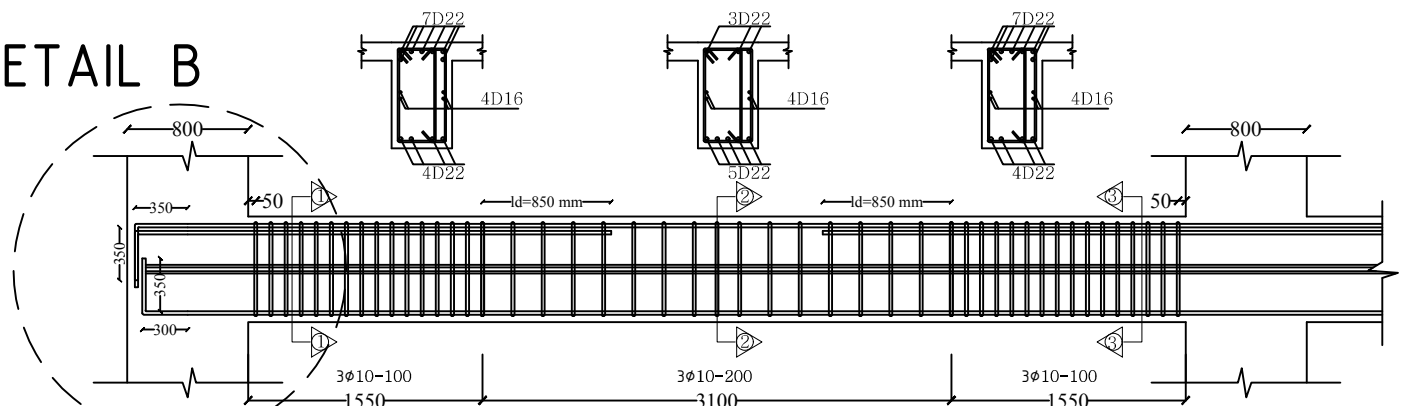
SKALA 1:40



DETAIL (B) PENYALURAN DAN KAIT BI-4

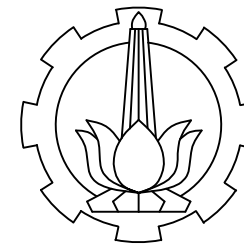
SKALA 1:40

DETAIL B



DETAIL PENULANGAN BALOK BI-4

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

MAHASISWA

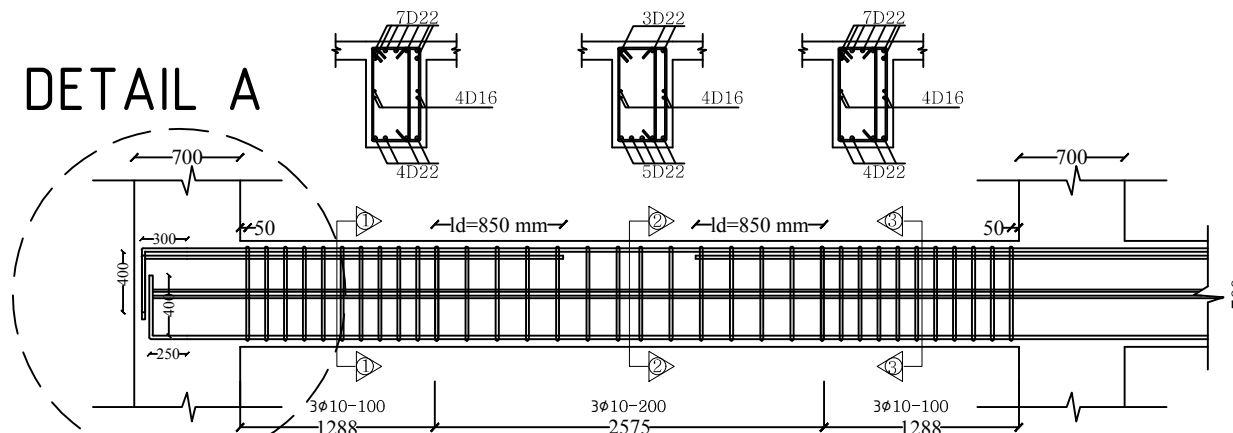
ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

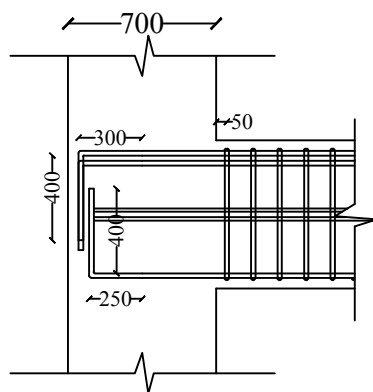
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	18	41

DETAIL A



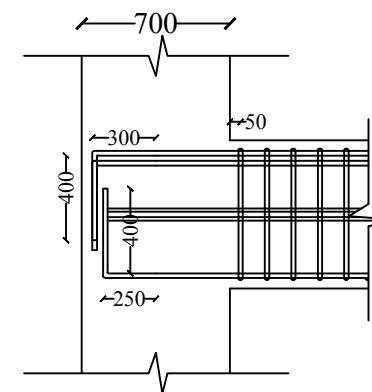
DETAIL PENULANGAN BALOK BI-5

SKALA 1:50



DETAIL (A) PENYALURAN DAN KAIT BI-5

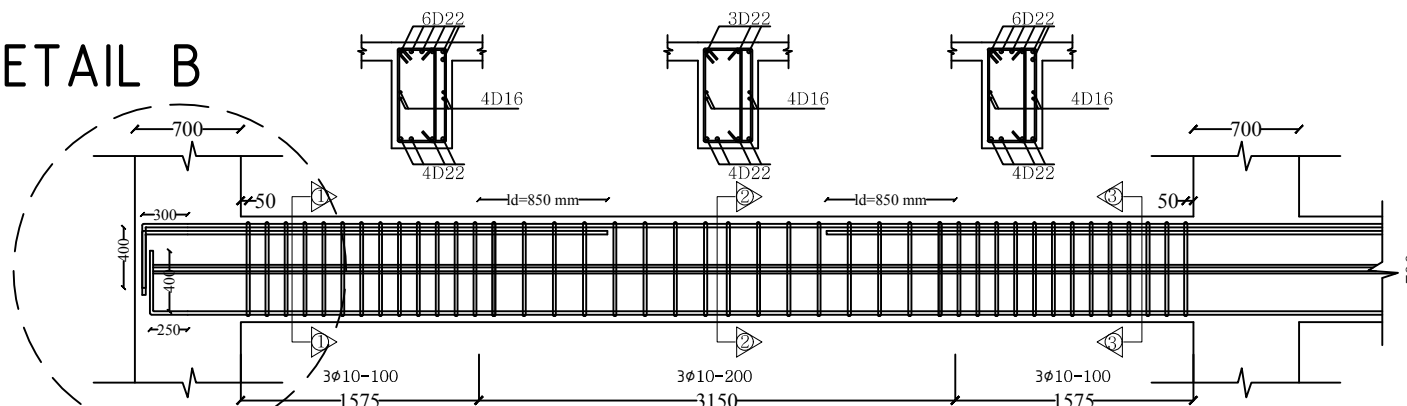
SKALA 1:40



DETAIL (B) PENYALURAN DAN KAIT BI-6

SKALA 1:40

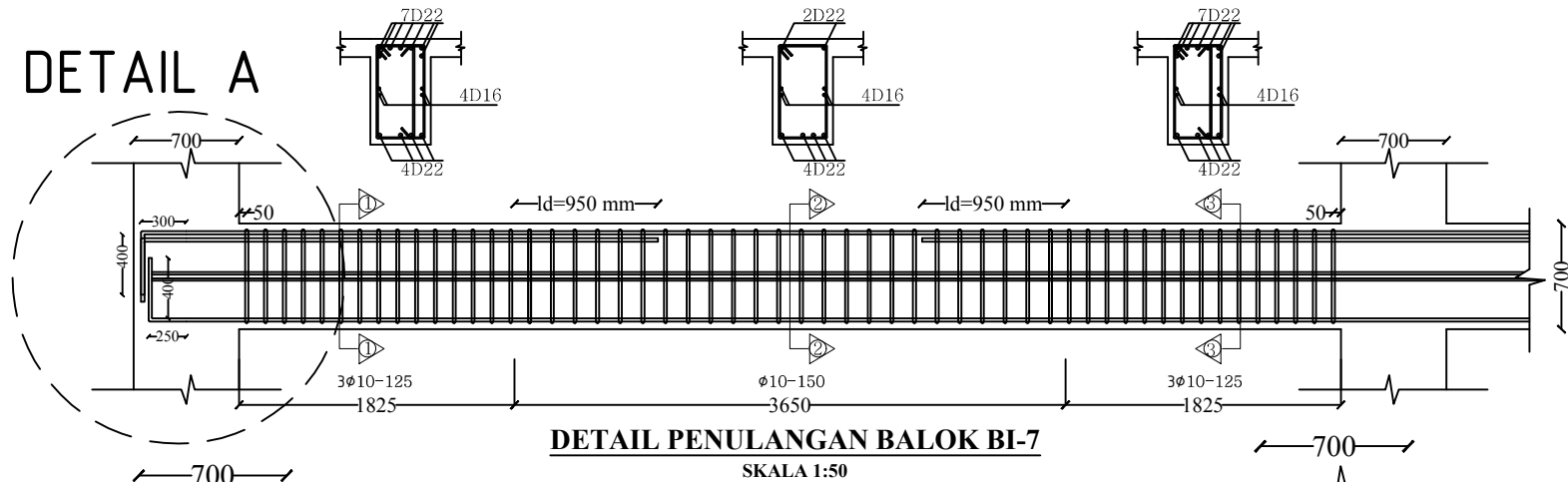
DETAIL B



DETAIL PENULANGAN BALOK BI-6

SKALA 1:50

DETAIL A



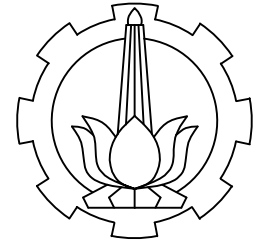
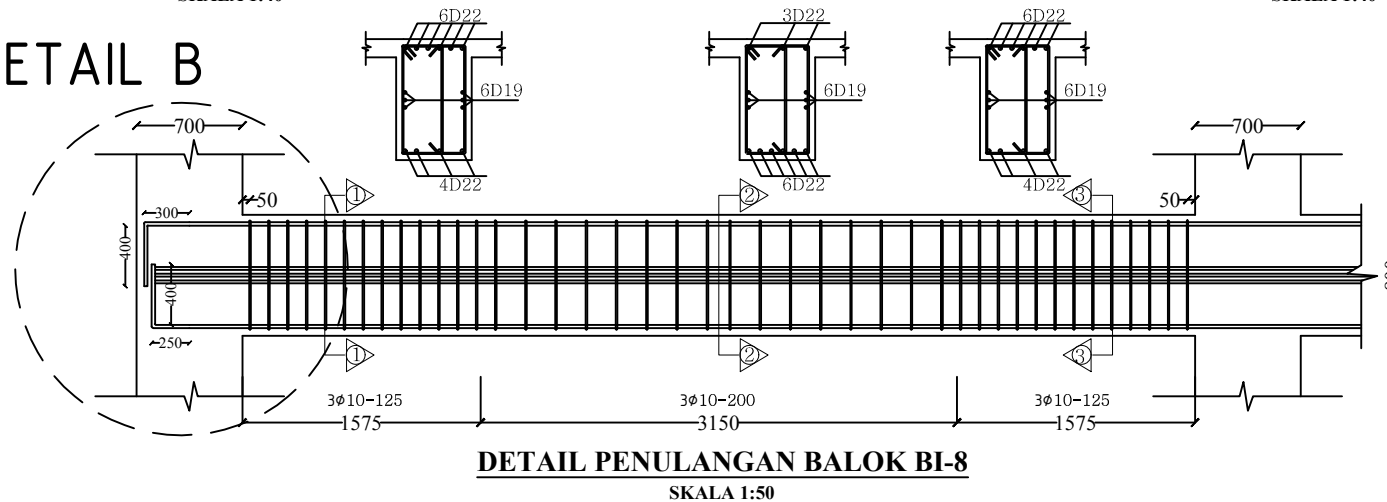
DETAIL (A) PENYALURAN DAN KAIT BI-7

SKALA 1:40

DETAIL (B) PENYALURAN DAN KAIT BI-8

SKALA 1:40

DETAIL B



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

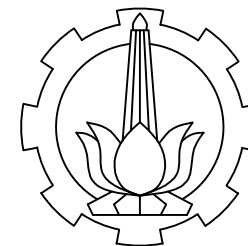
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	19	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

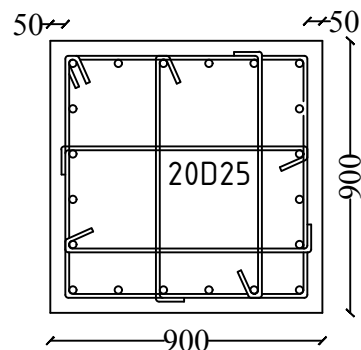
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

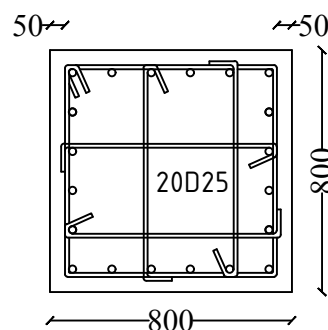
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

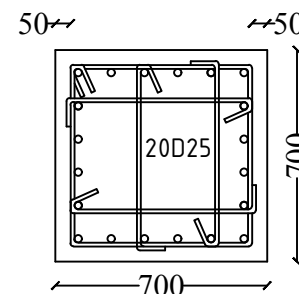
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	20	41



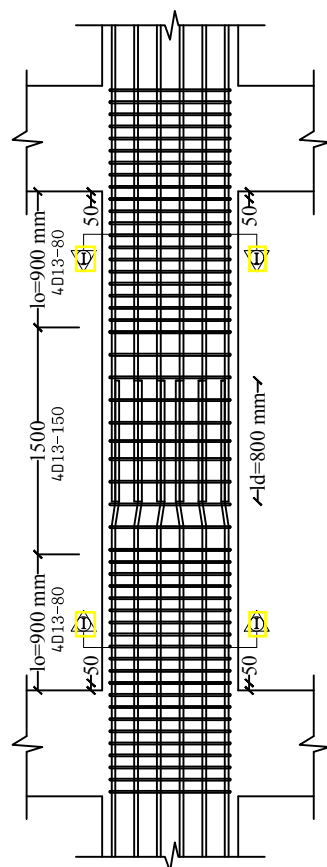
KOLOM K1
SKALA 1:100



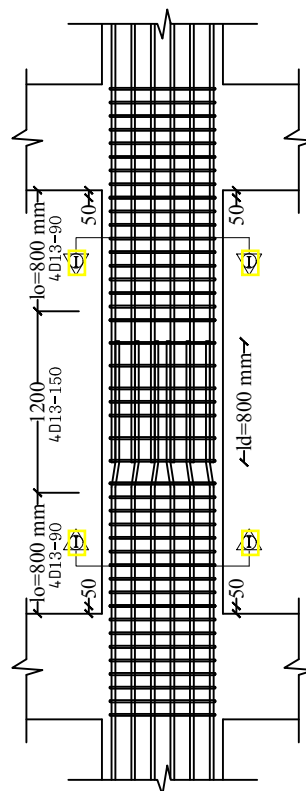
KOLOM K2
SKALA 1:75



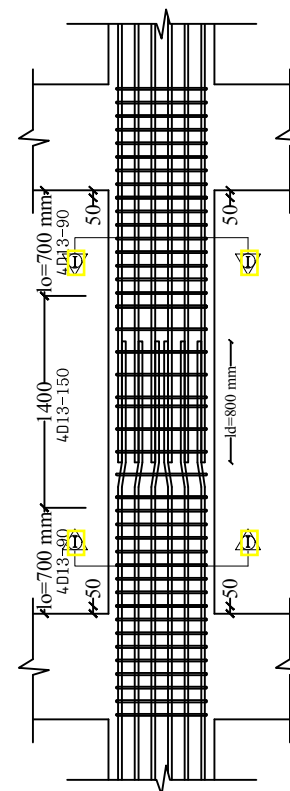
KOLOM K3
SKALA 1:20



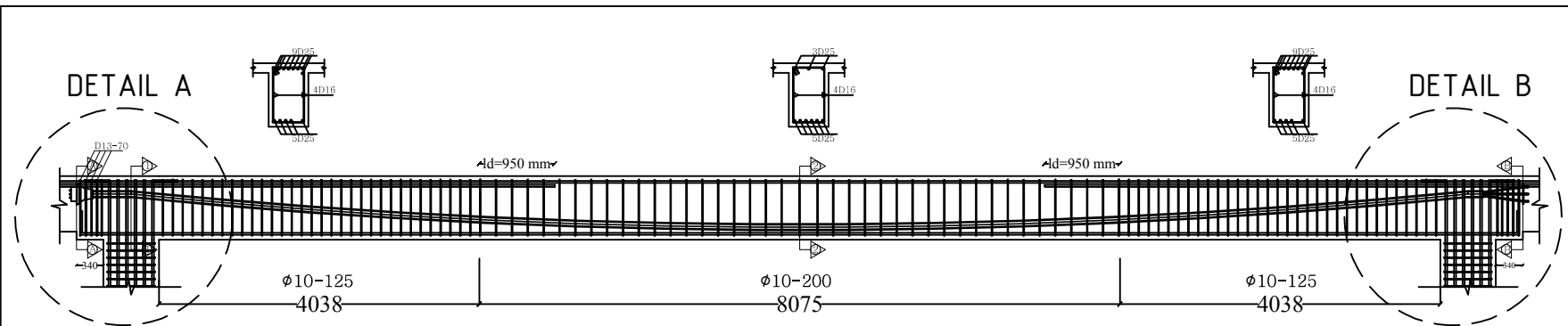
DETAIL PENULANGAN KOLOM K1
SKALA 1:50



DETAIL PENULANGAN KOLOM K2
SKALA 1:50

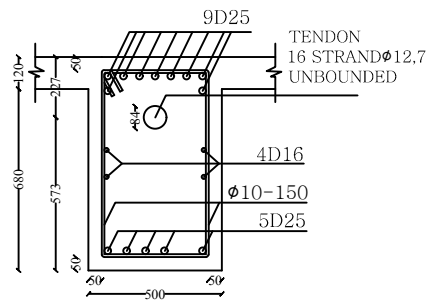


DETAIL PENULANGAN KOLOM K3
SKALA 1:50



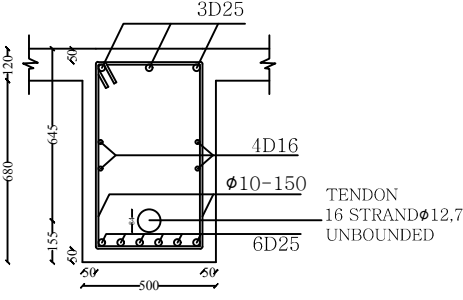
DETAIL PENULANGAN BALOK BP

SKALA 1:85



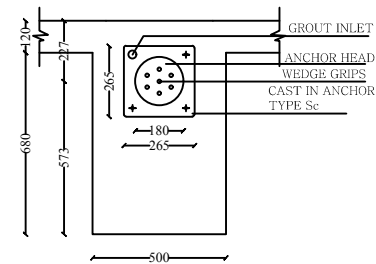
POTONGAN 1-1

SKALA 1:45



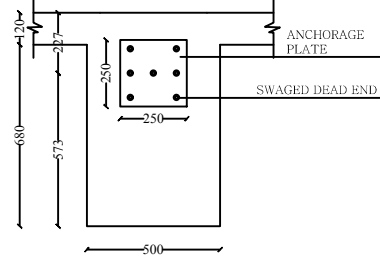
POTONGAN 2-2

SKALA 1:45



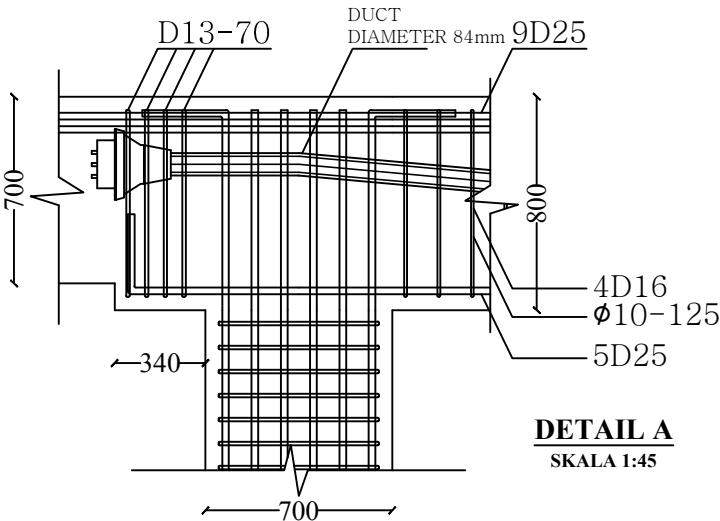
POTONGAN A-A

SKALA 1:45



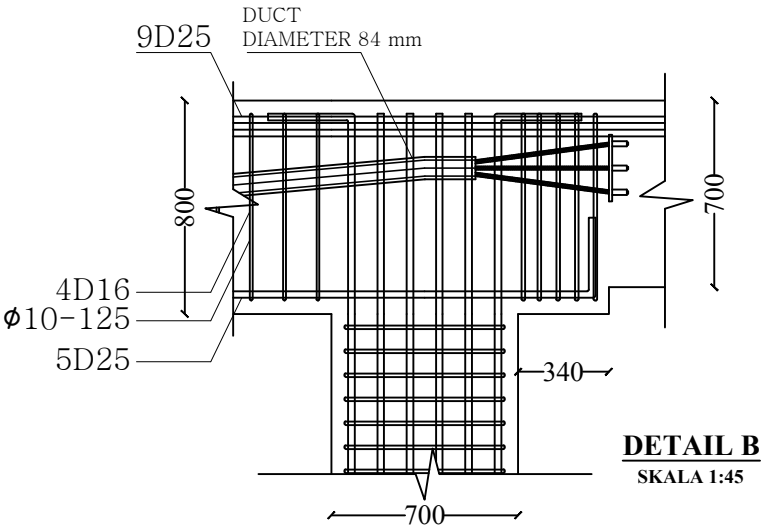
POTONGAN B-B

SKALA 1:45



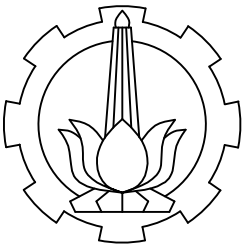
DETAIL A

SKALA 1:45



DETAIL B

SKALA 1:45



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

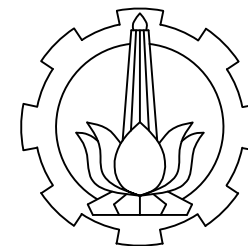
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	21	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

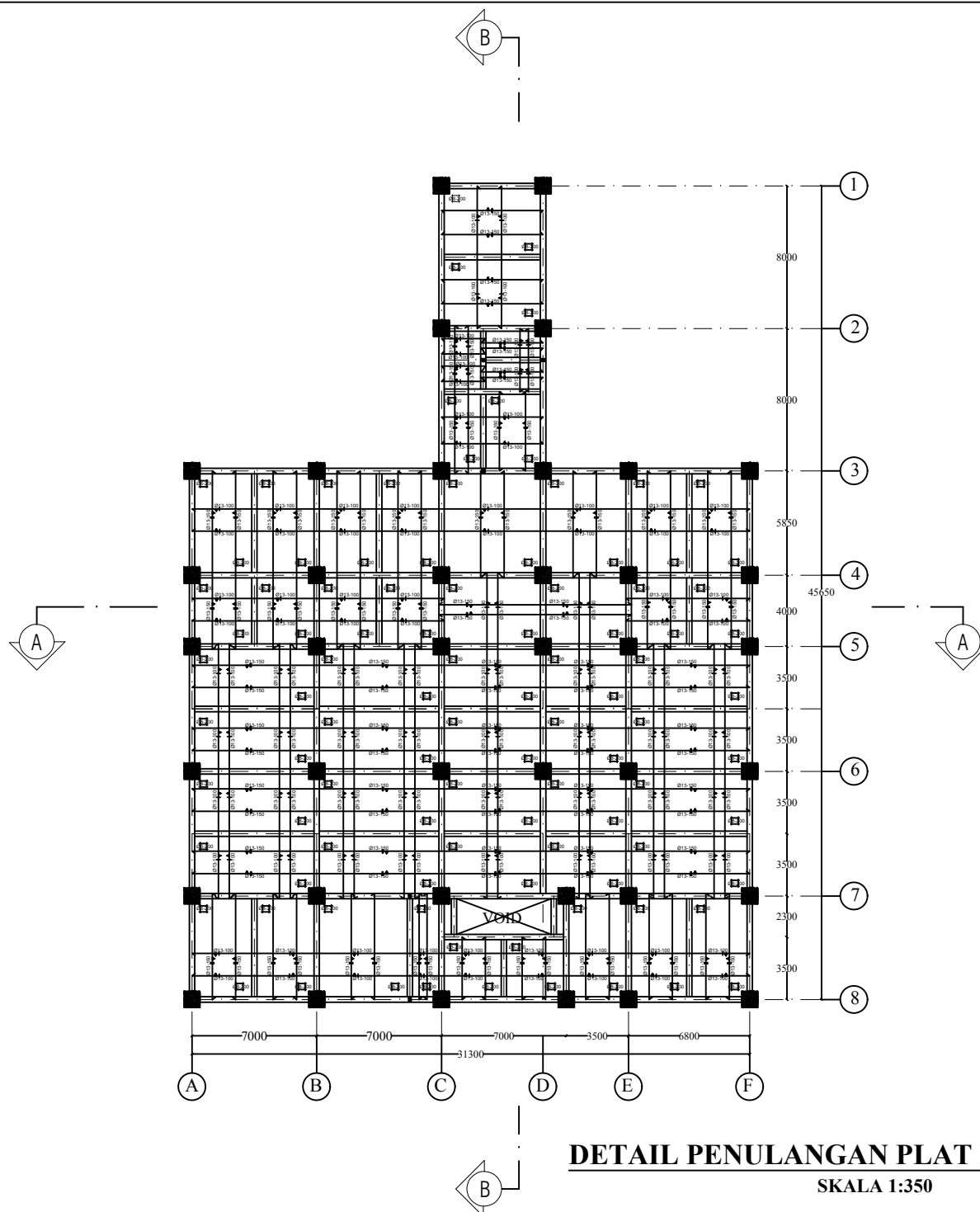
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

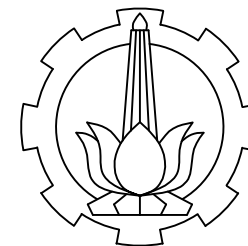
Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	23	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT-PARKIRAN

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

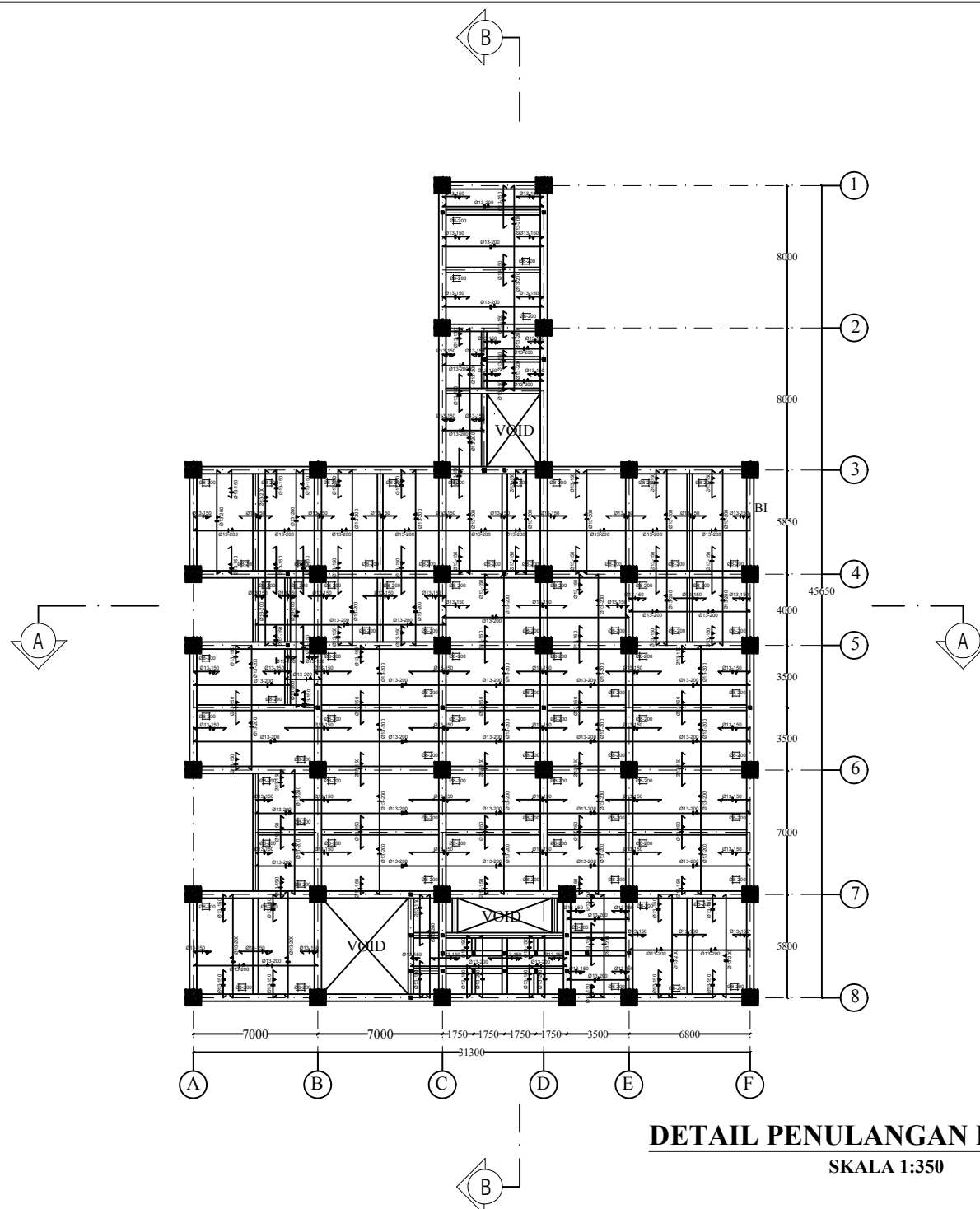
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

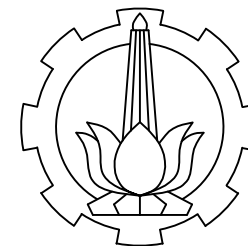
Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	240 Mpa
- Balok, Plat	30 Mpa
- Kolom	35 Mpa
- Balok Pratekan	40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	20 mm
- Balok	40 mm
- Kolom, Sloof	50 mm
- Pondasi, Pile Cap	75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	24	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT. 1

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

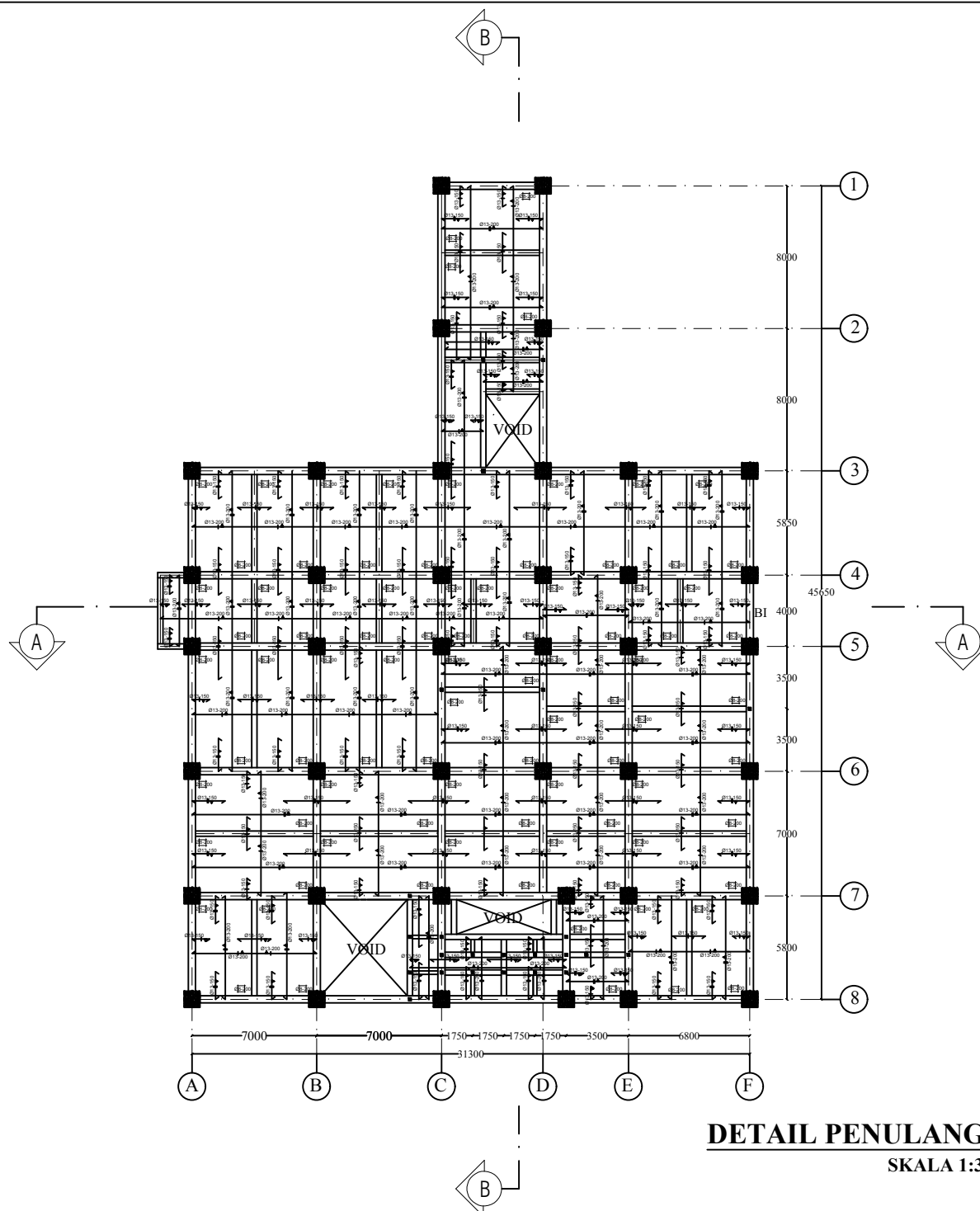
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

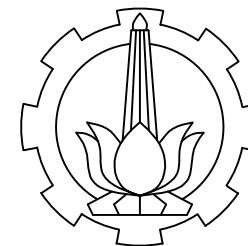
Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	25	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT. 2

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

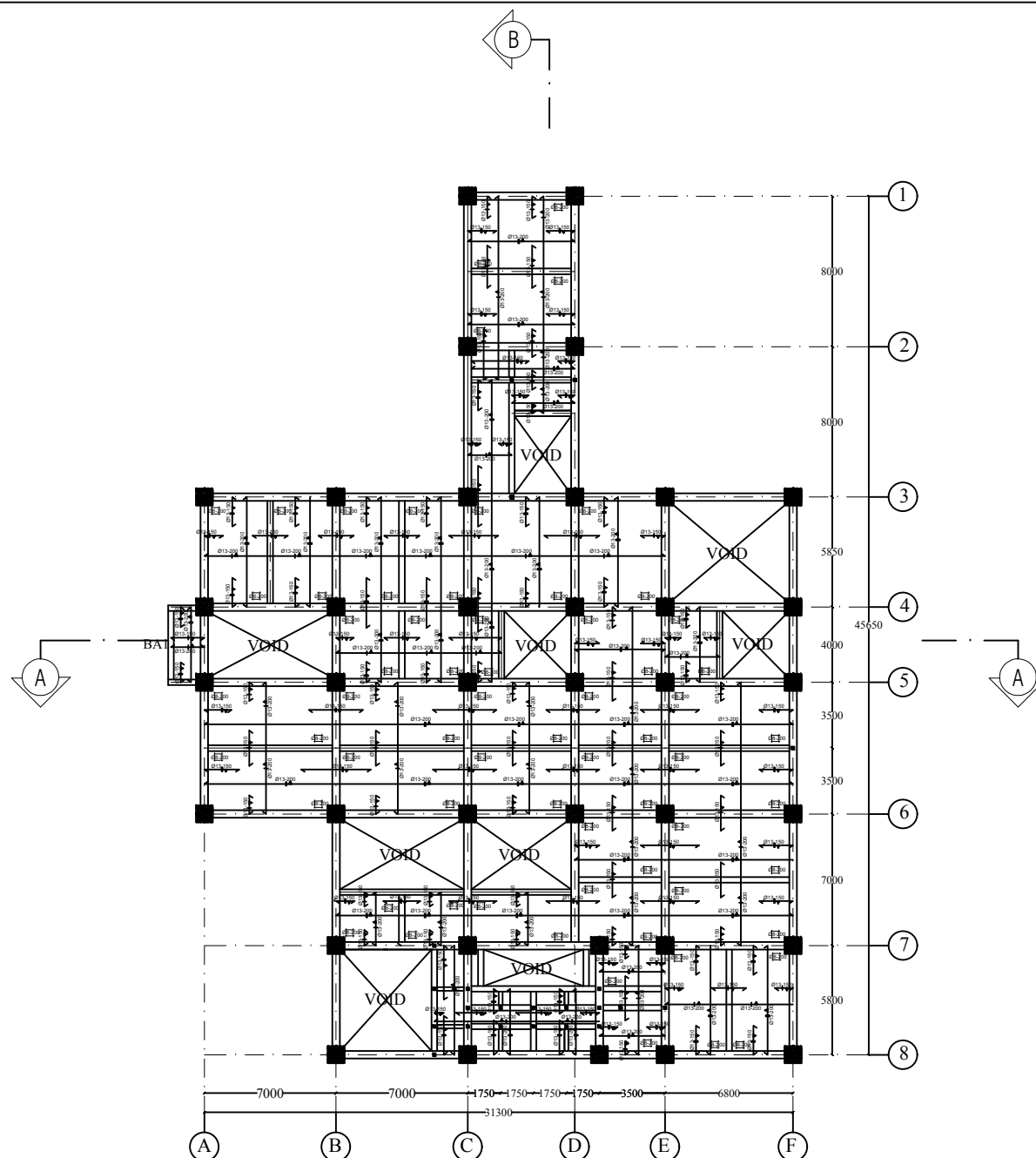
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

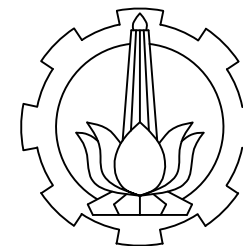
Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	26	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT. 2 MEZZANINE

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

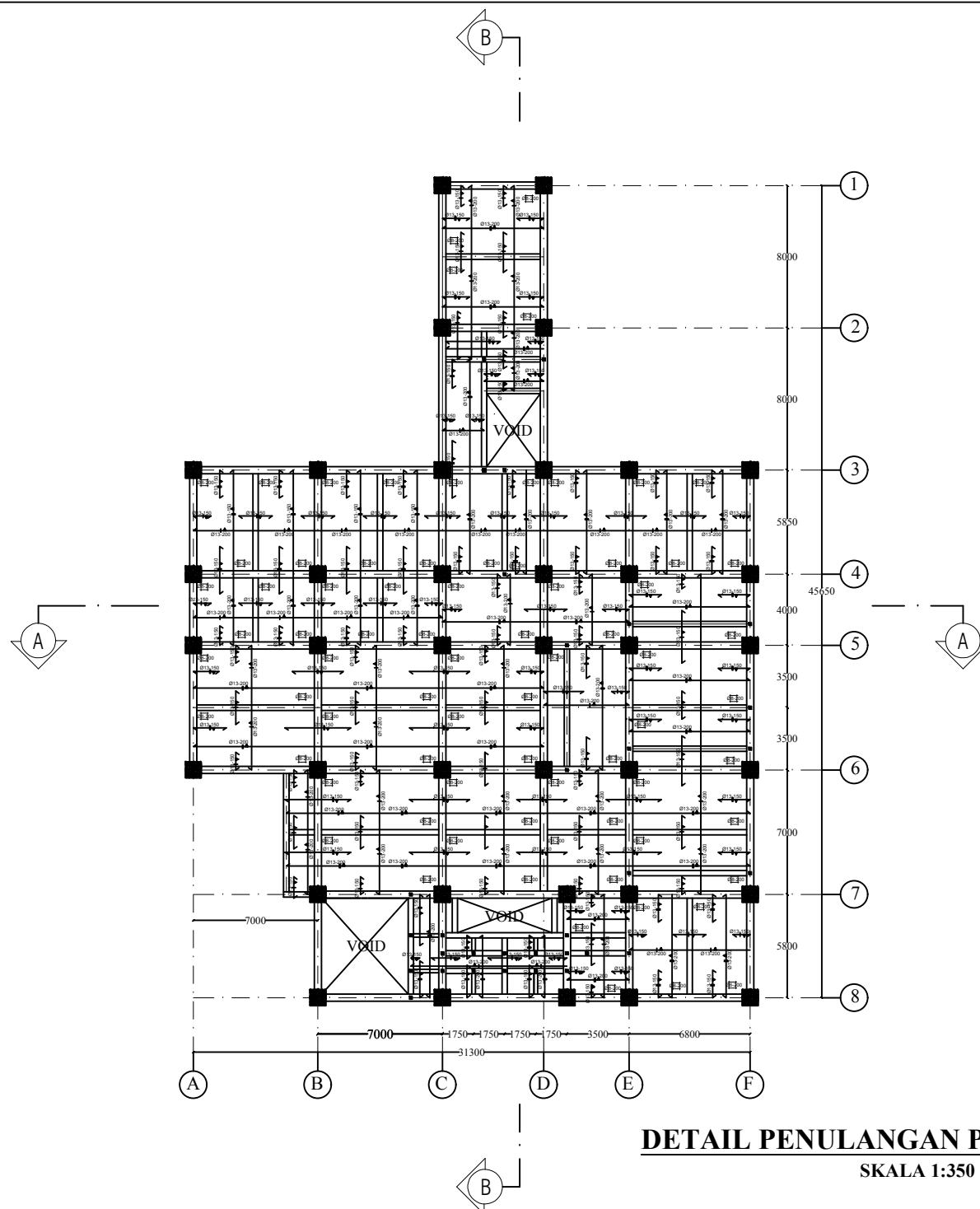
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

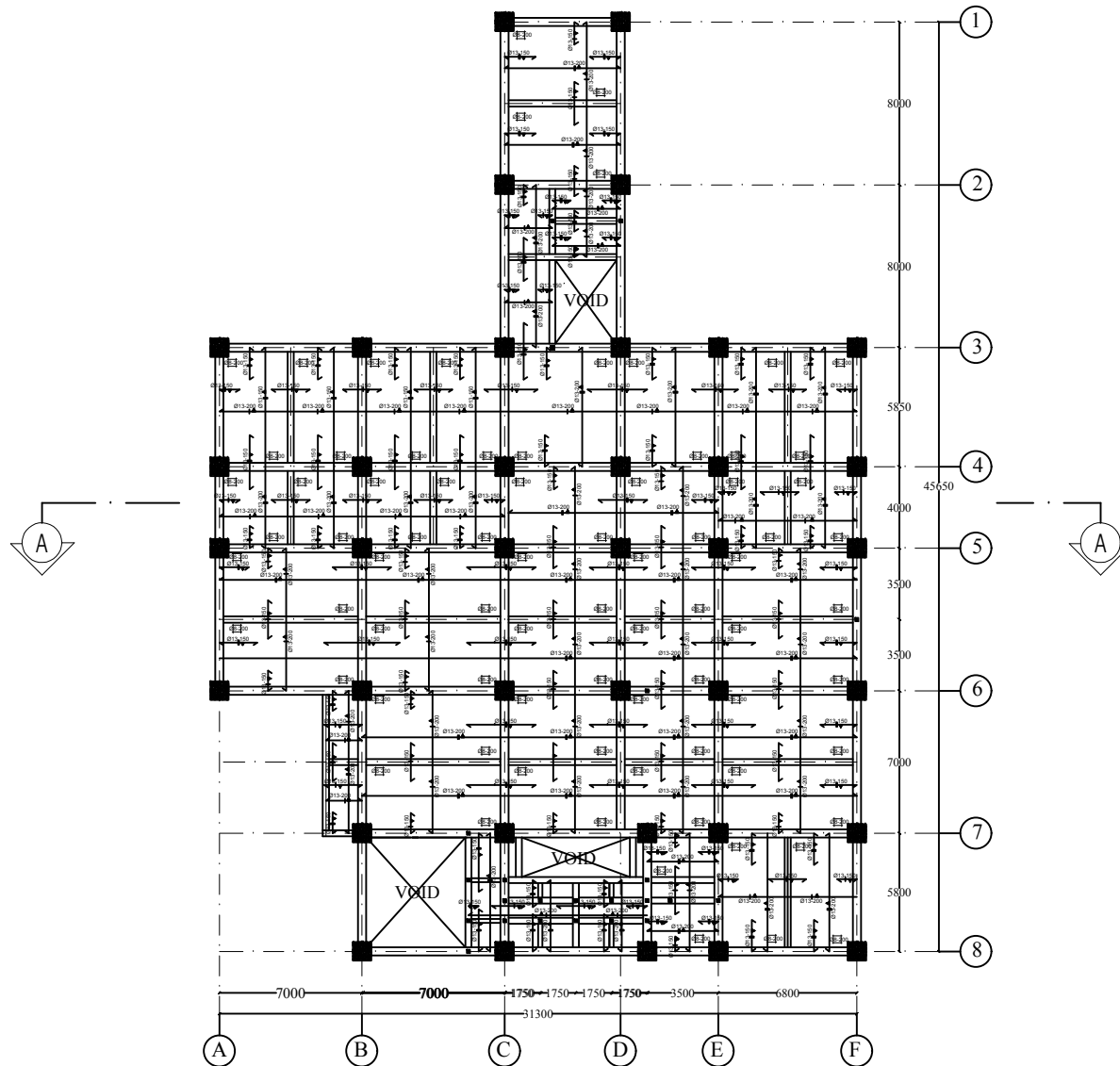
Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	27	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT. 3 s/d 11

SKALA 1:350



DETAIL PENULANGAN PLAT LT. 12

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

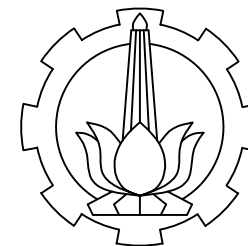
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	28	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

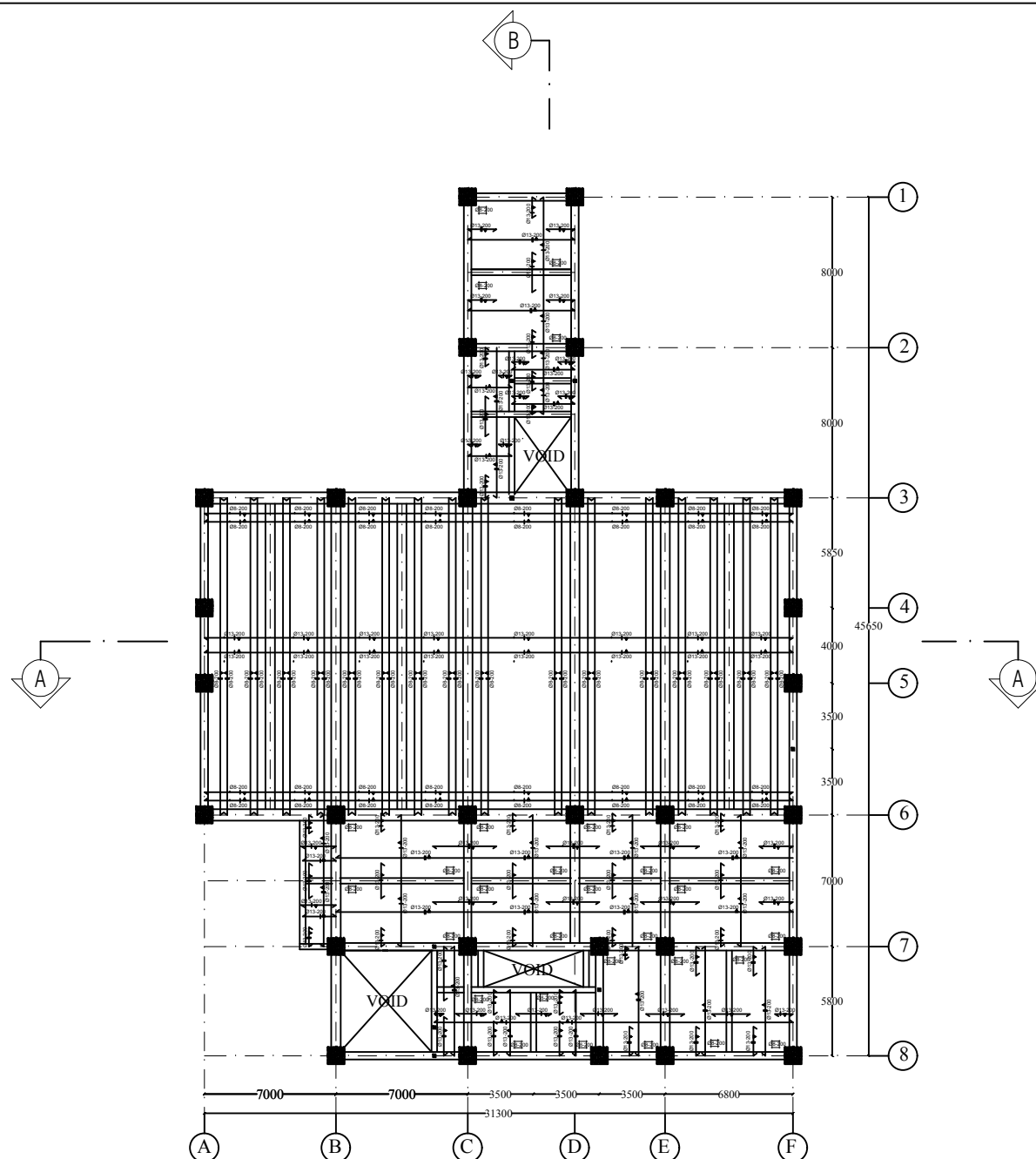
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

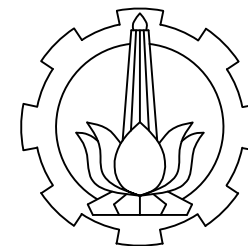
Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	29	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT. (ATAP)

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

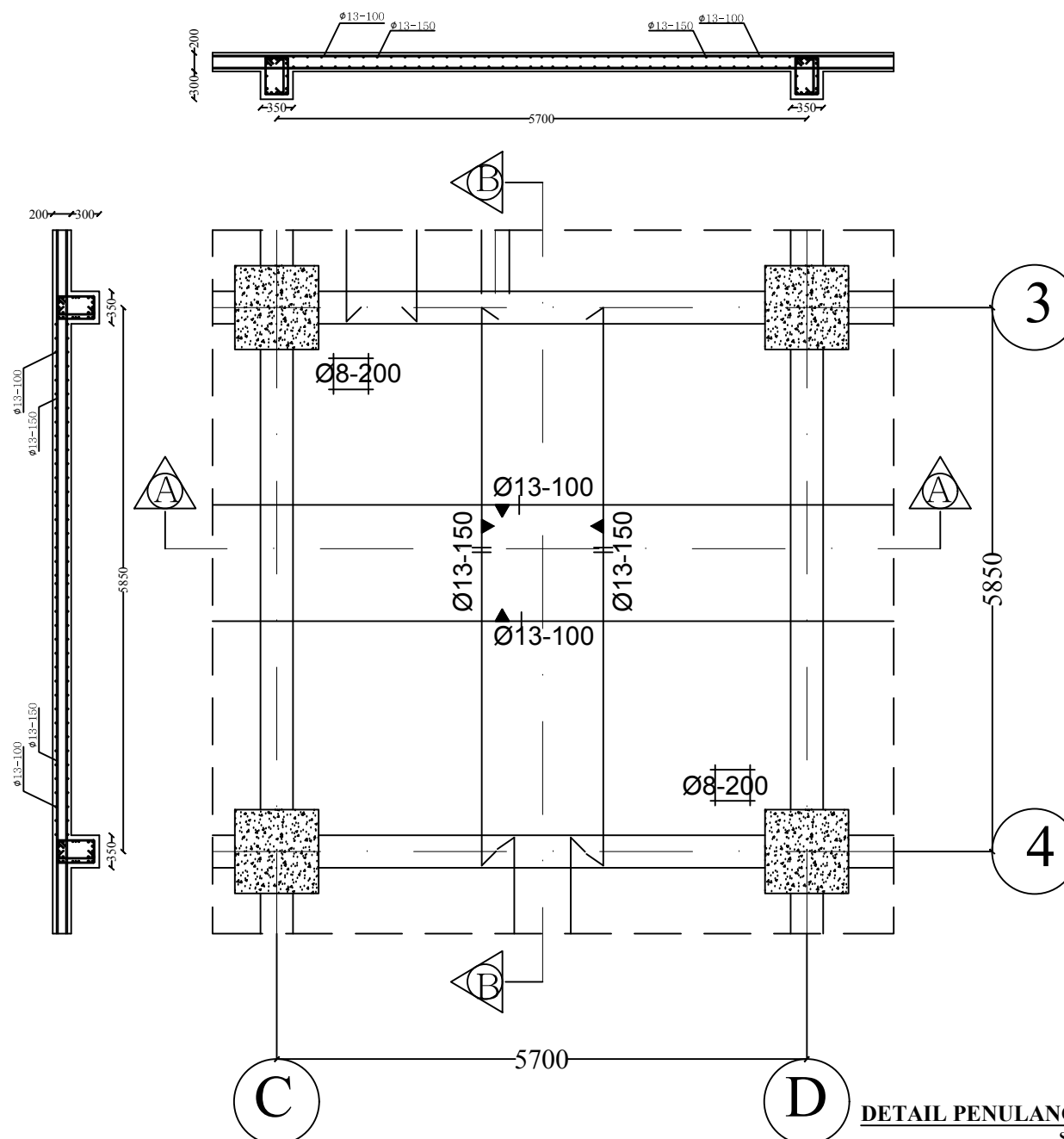
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

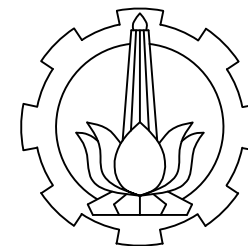
Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	30	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT-PARKIRAN

SKALA 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

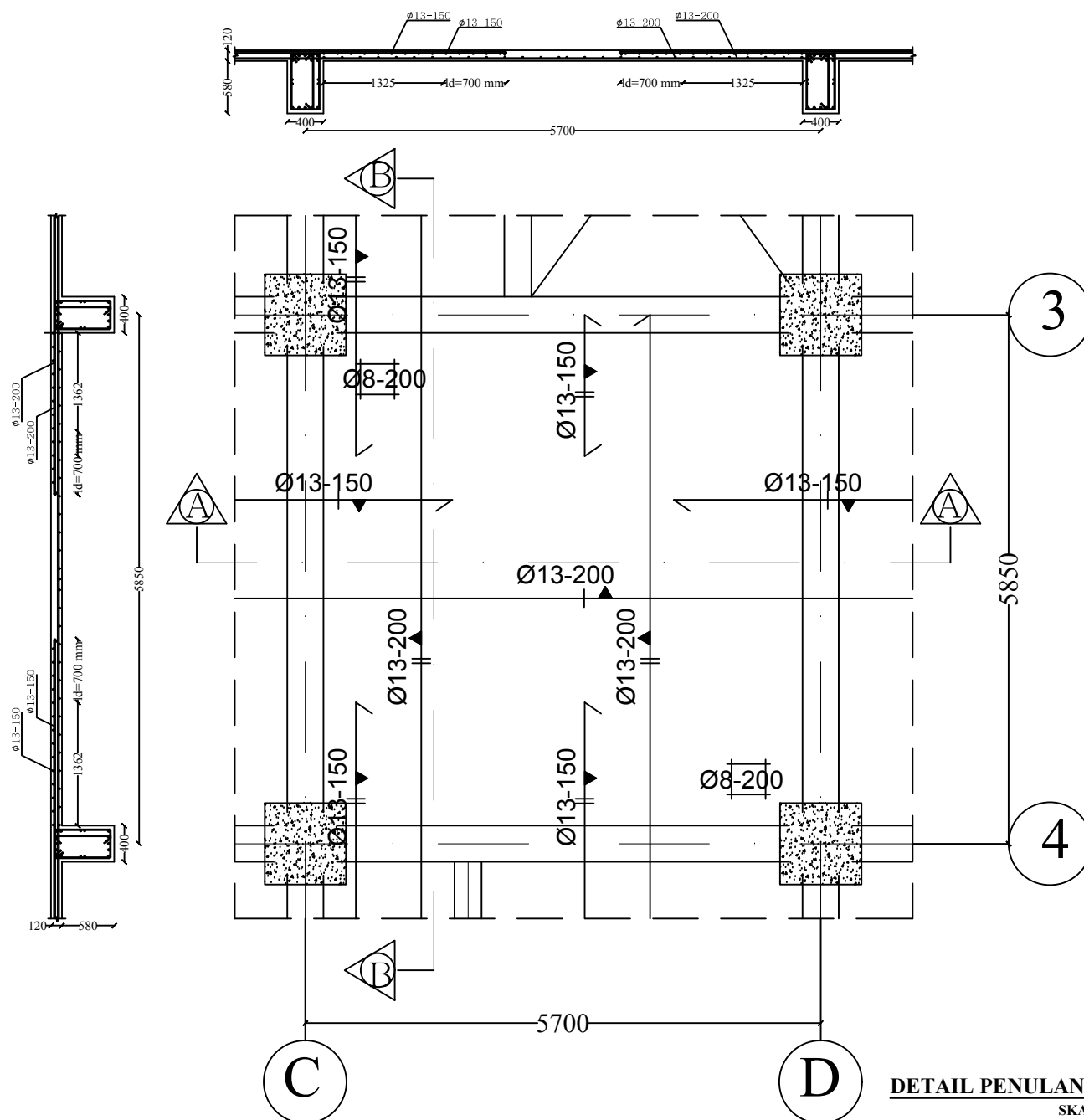
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

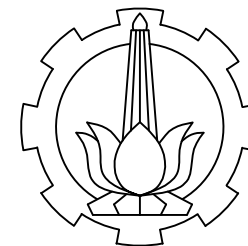
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	31	41



DETAIL PENULANGAN PLAT LT 1 s/d 12
SKALA 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

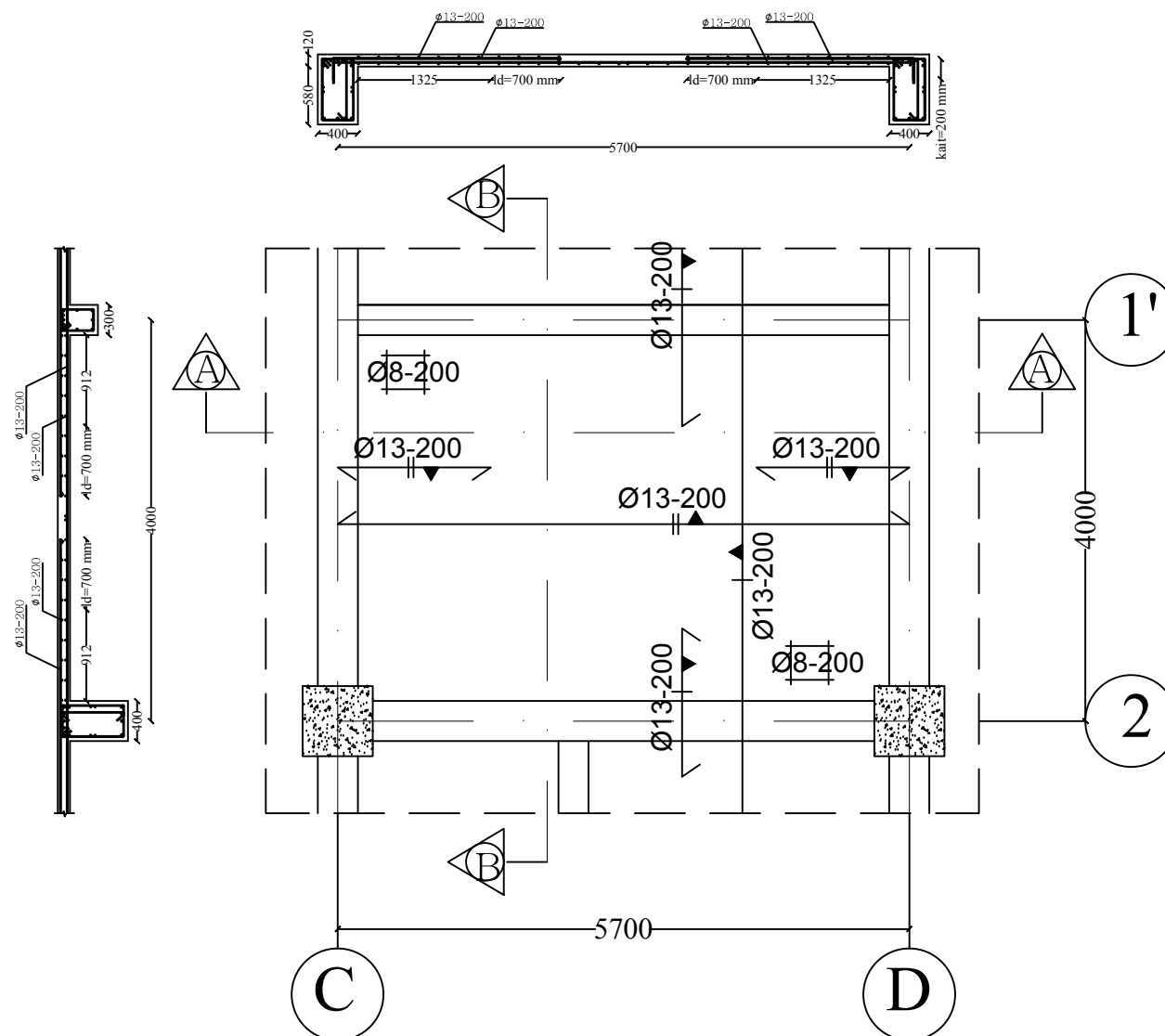
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

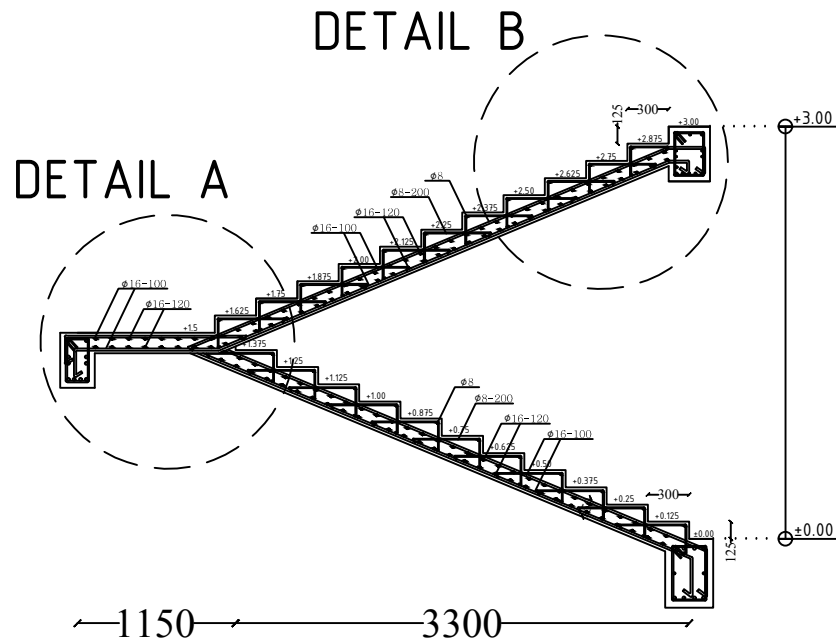
Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	32	41

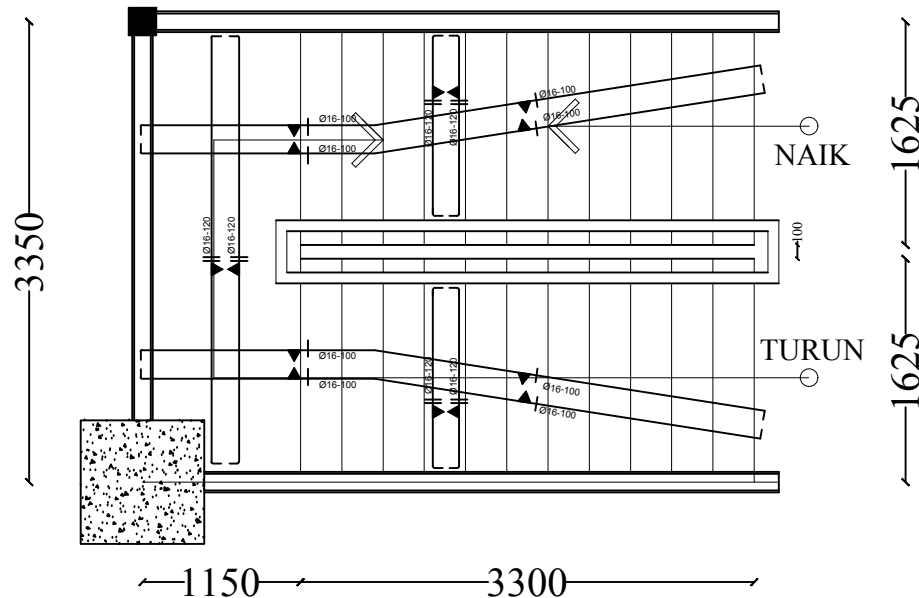


DETAIL PENULANGAN PLAT LT ATAP

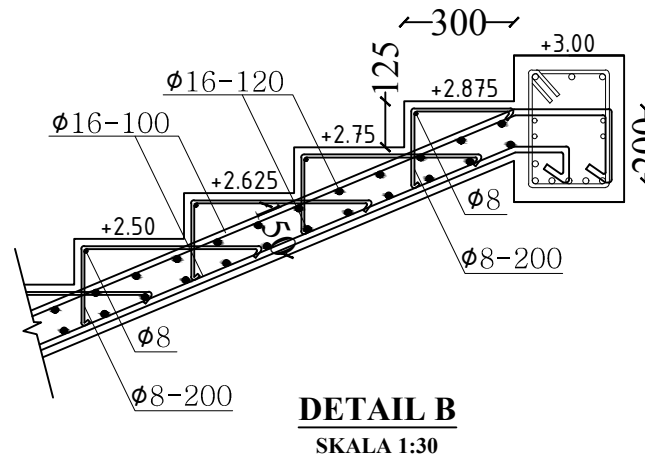
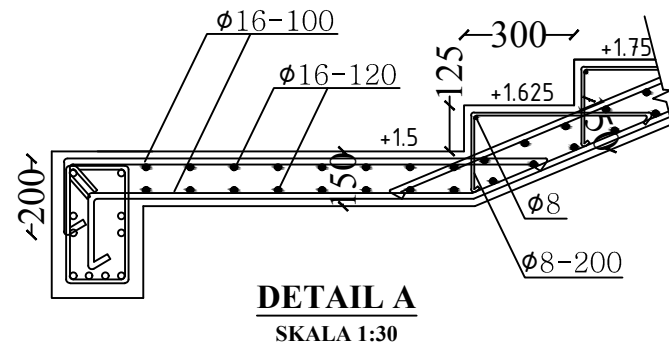
SKALA 1:70



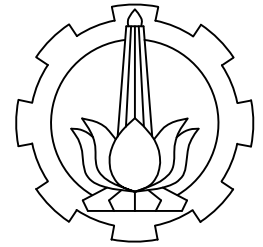
DETAIL PENULANGAN TANGGA 2
SKALA 1:55



PENULANGAN TANGGA 2
SKALA 1:55



DETAIL B
SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tawio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

MAHASISWA

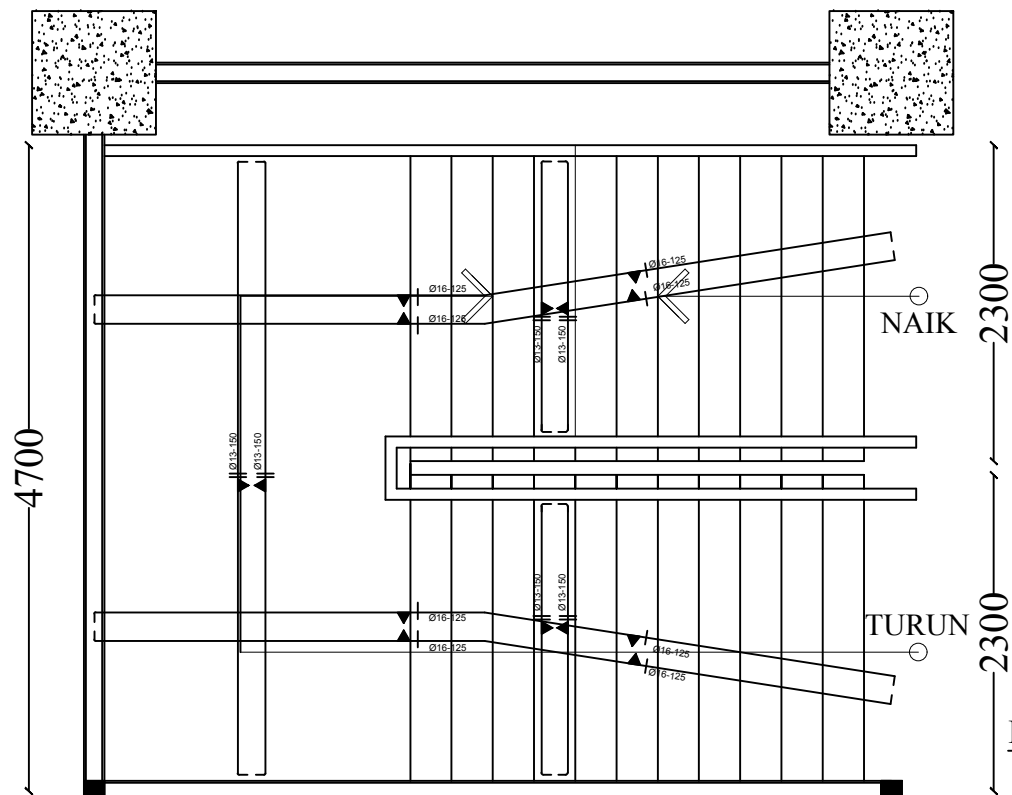
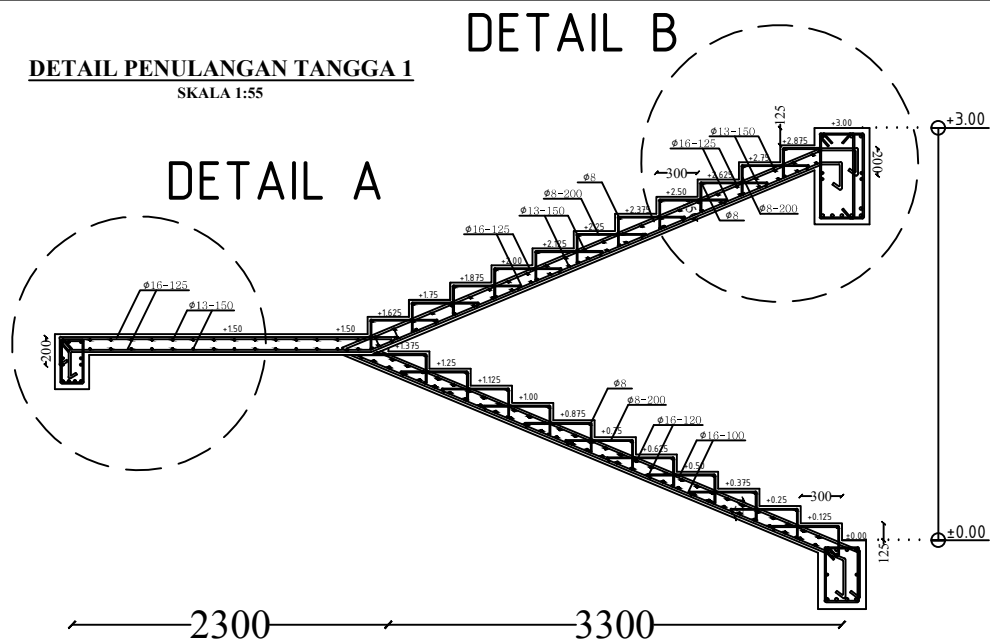
ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

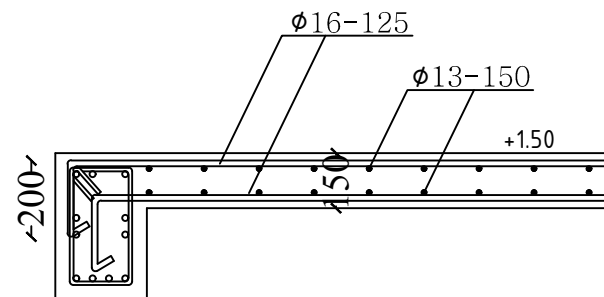
Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	33	41

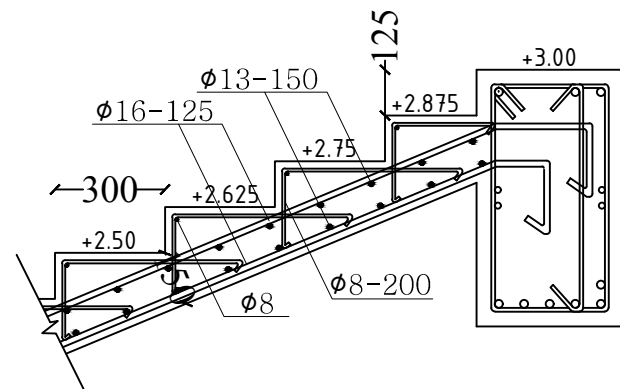
DETAIL PENULANGAN TANGGA 1
SKALA 1:55



DETAIL B

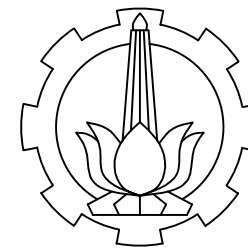


DETAIL A
SKALA 1:30



DETAIL B
SKALA 1:30

PENULANGAN TANGGA 1
SKALA 1:55



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

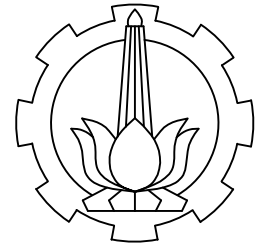
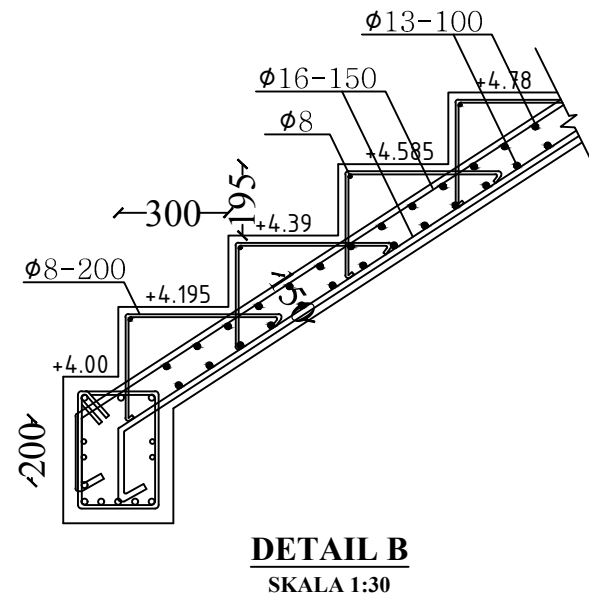
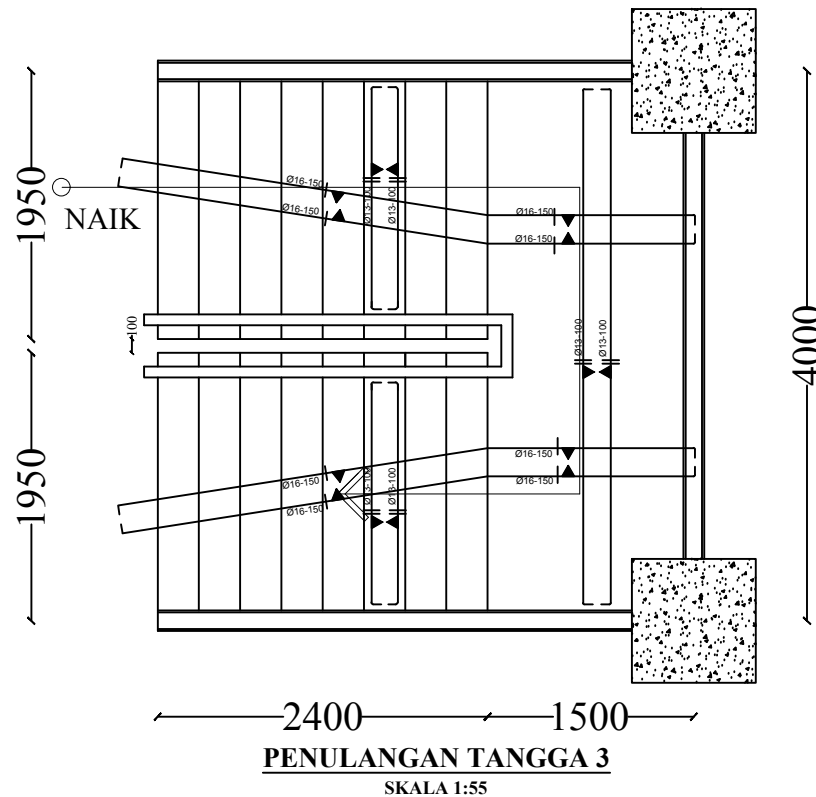
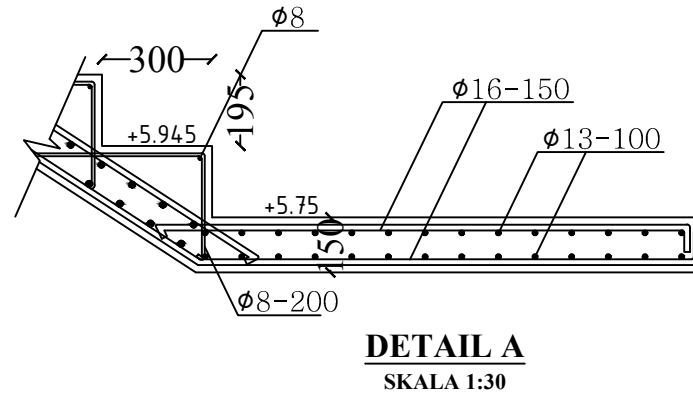
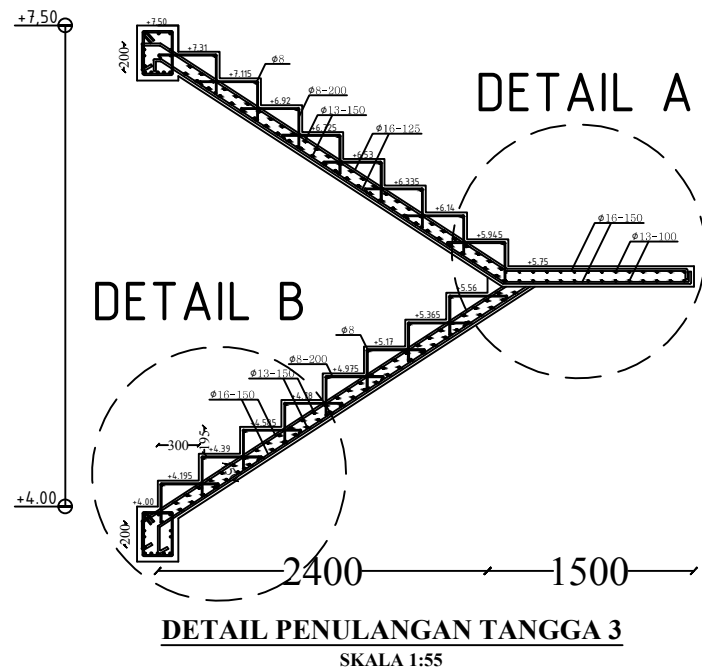
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	34	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavoio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

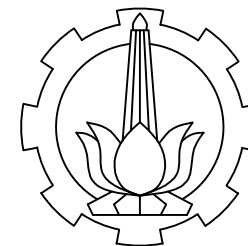
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	240 Mpa
- Balok, Plat	30 Mpa
- Kolom	35 Mpa
- Balok Pratekan	40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	20 mm
- Balok	40 mm
- Kolom, Sloof	50 mm
- Pondasi, Pile Cap	75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	35	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

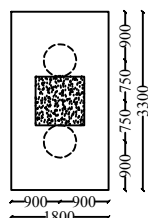
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

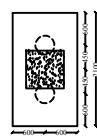
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

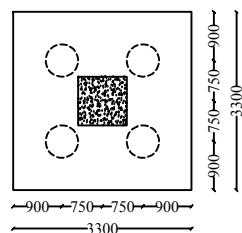
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	36	41



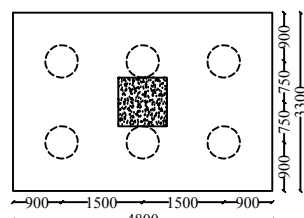
PC1
SKALA 1:100



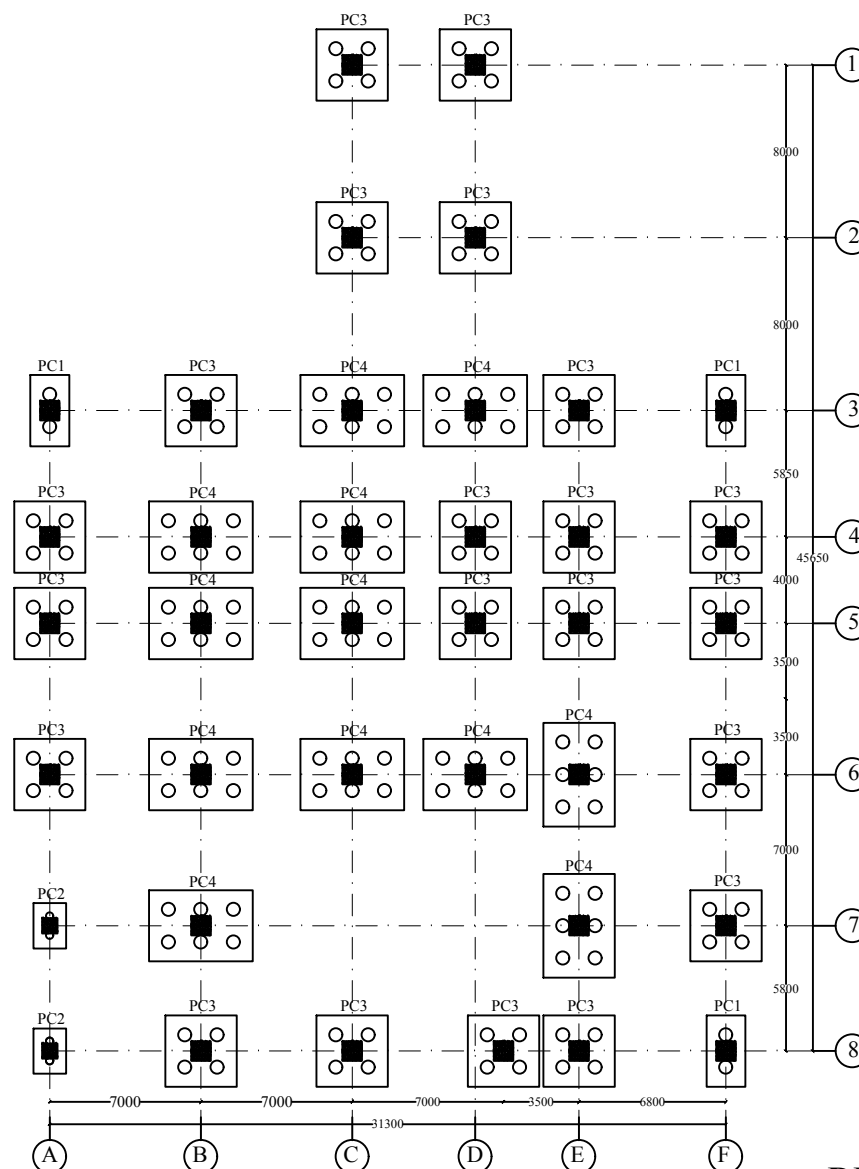
PC2
SKALA 1:100



PC3
SKALA 1:100

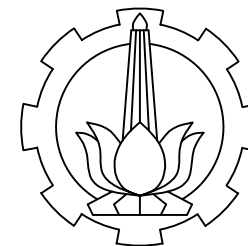


PC4
SKALA 1:100



DENAH PILECAP KOLOM

SKALA 1:350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

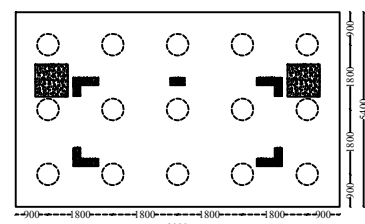
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

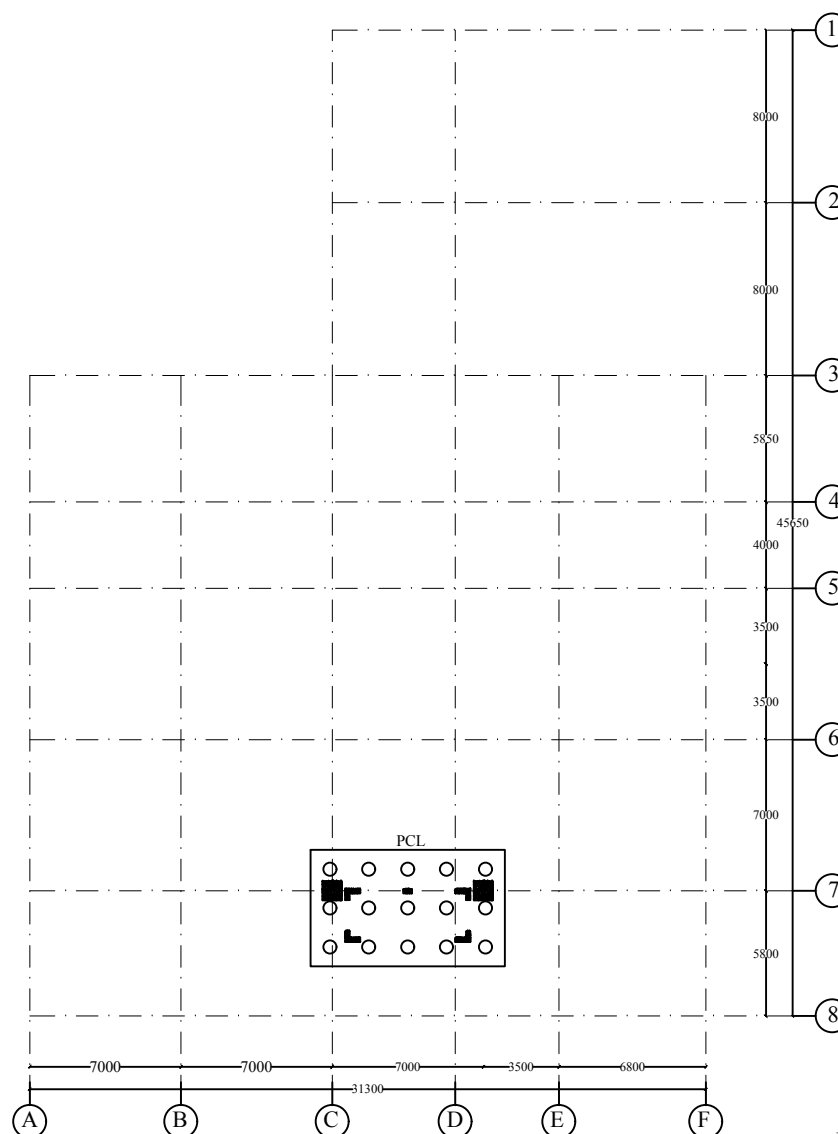
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	37	41

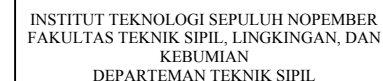


PCL
SKALA 1:100



DENAH PILECAP LIFT

SKALA 1:350



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

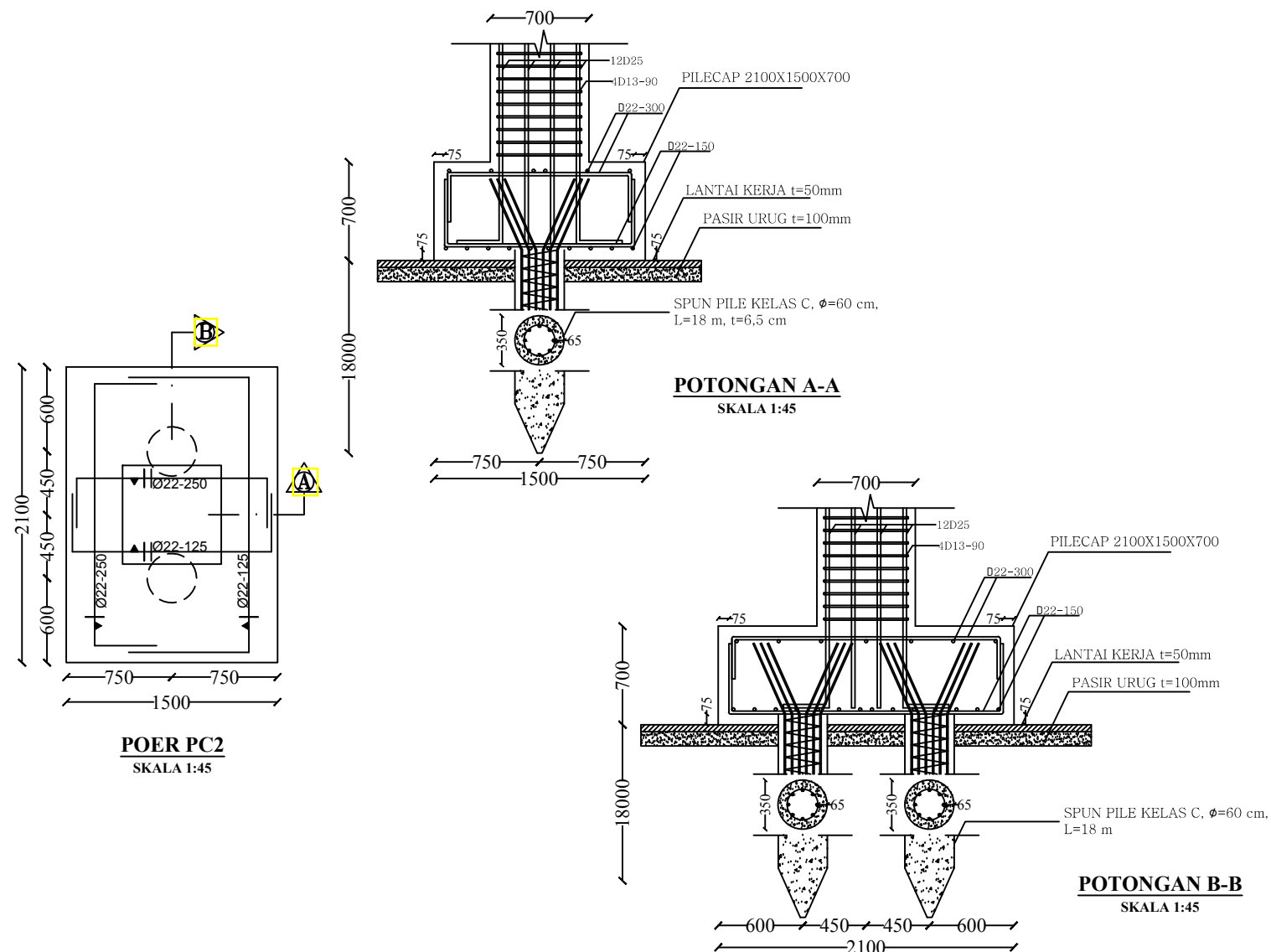
Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

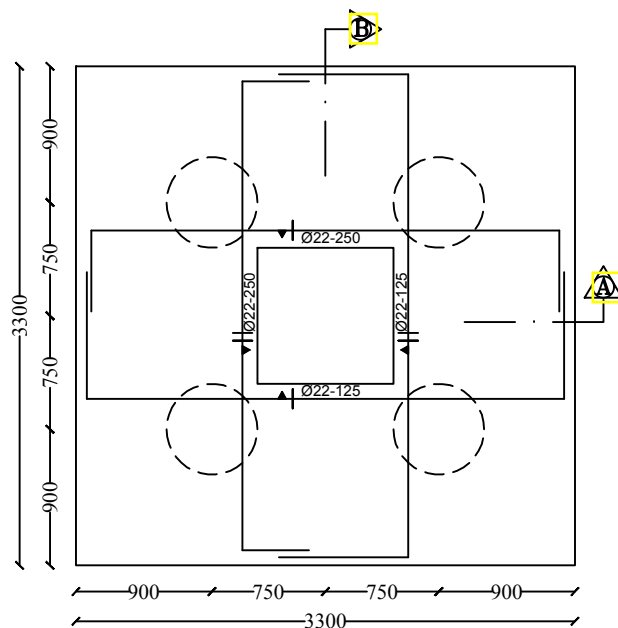
Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

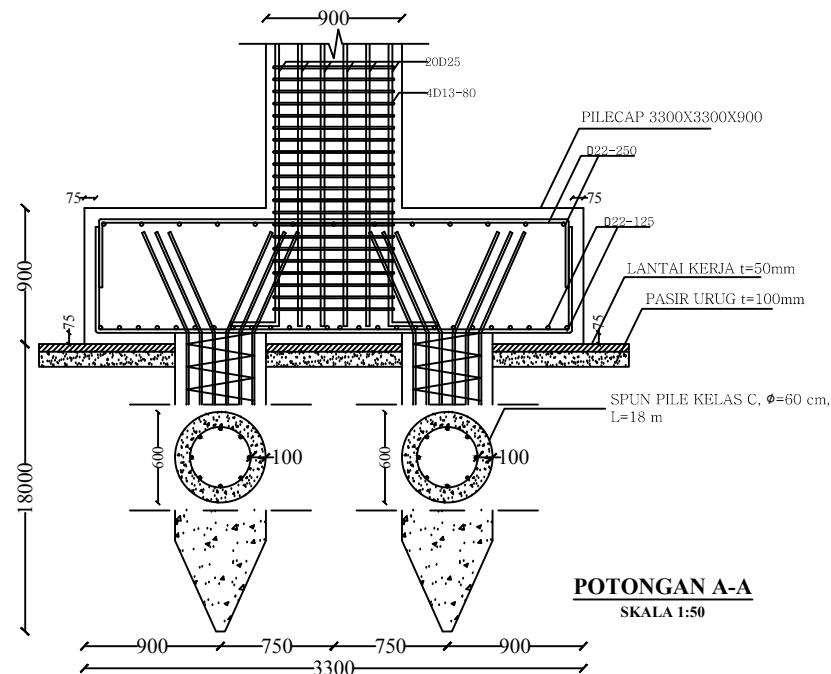
Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	240 Mpa
- Balok, Plat	30 Mpa
- Kolom	35 Mpa
- Balok Pratekan	40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	20 mm
- Balok	40 mm
- Kolom, Sloof	50 mm
- Pondasi, Pile Cap	75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	39	41

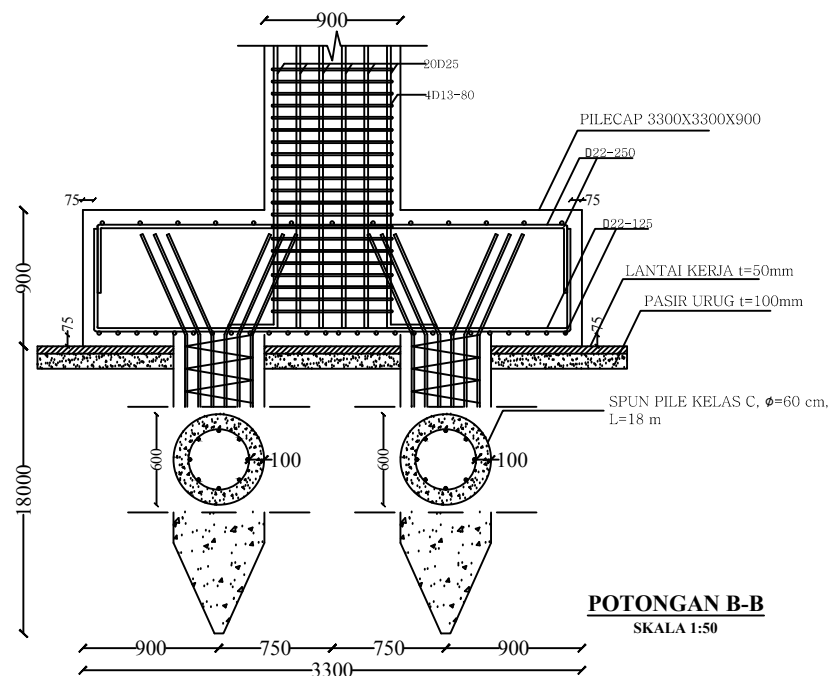




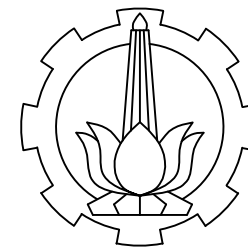
POER PC3
SKALA 1:50



POTONGAN A-A
SKALA 1:50



POTONGAN B-B
SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

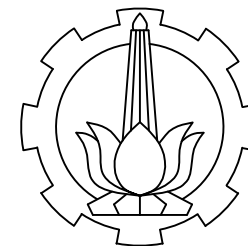
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	40	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

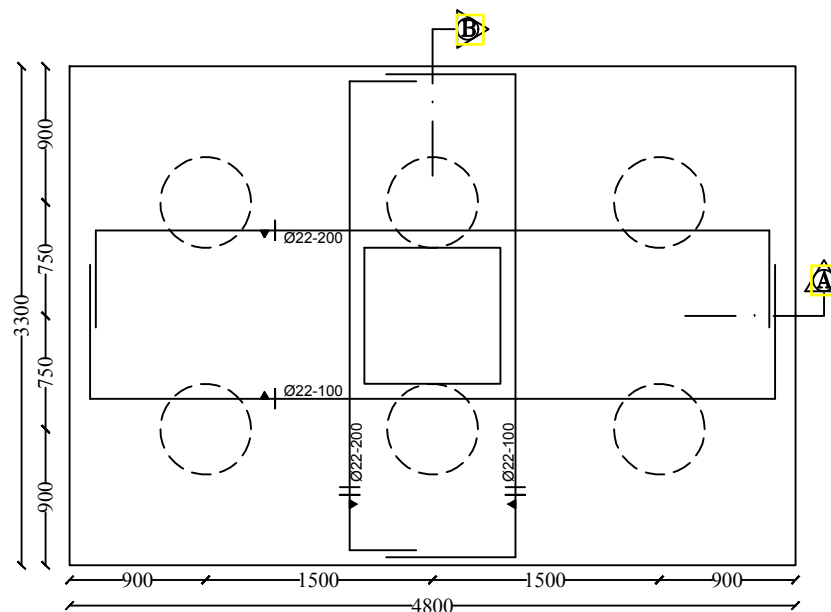
MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

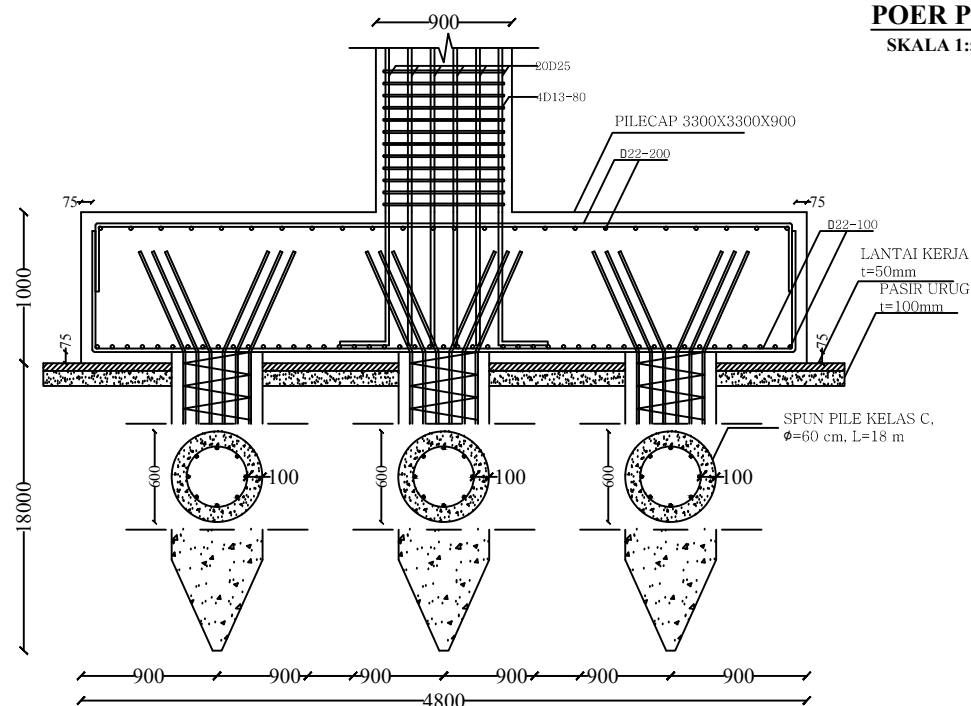
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	Gedung Pendidikan
Lokasi	Surabaya
Kondisi Tanah	Sedang
Metode Perencanaan	SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimit Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

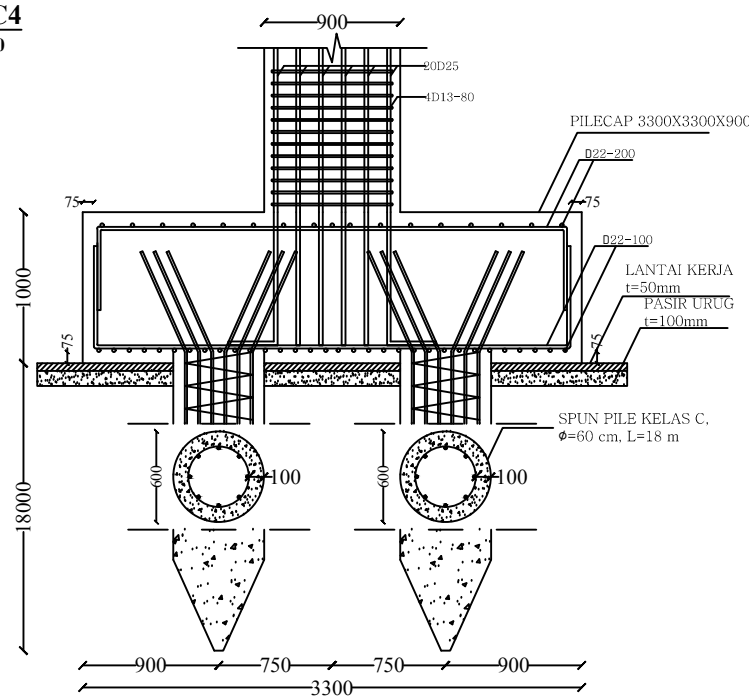
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	41	41



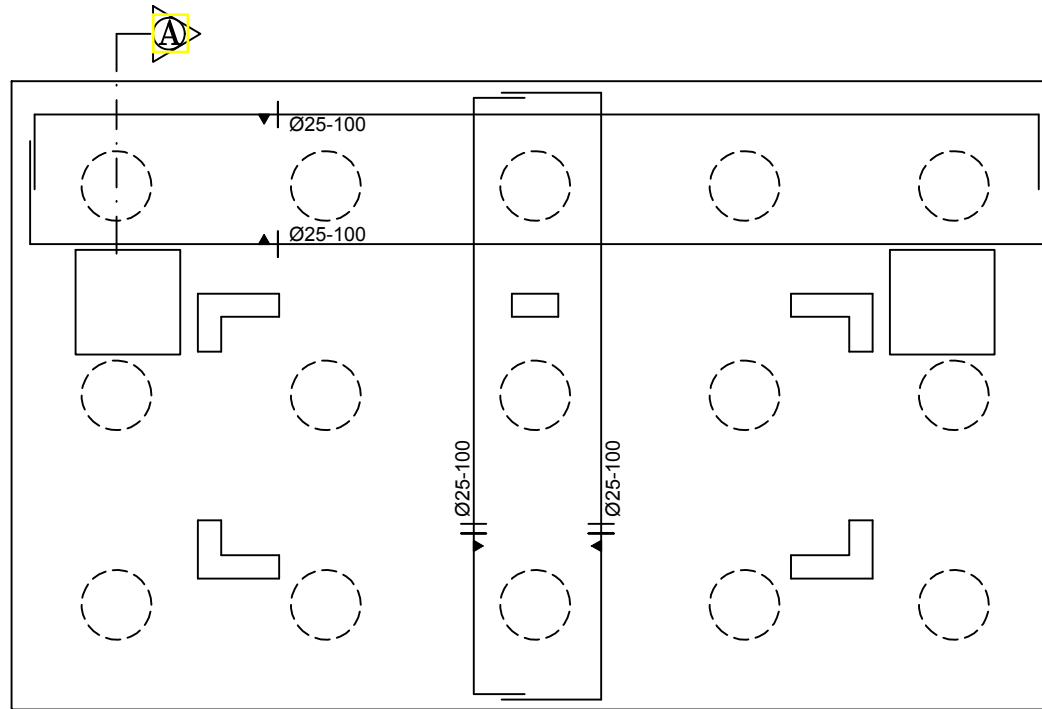
POER PC4
SKALA 1:50



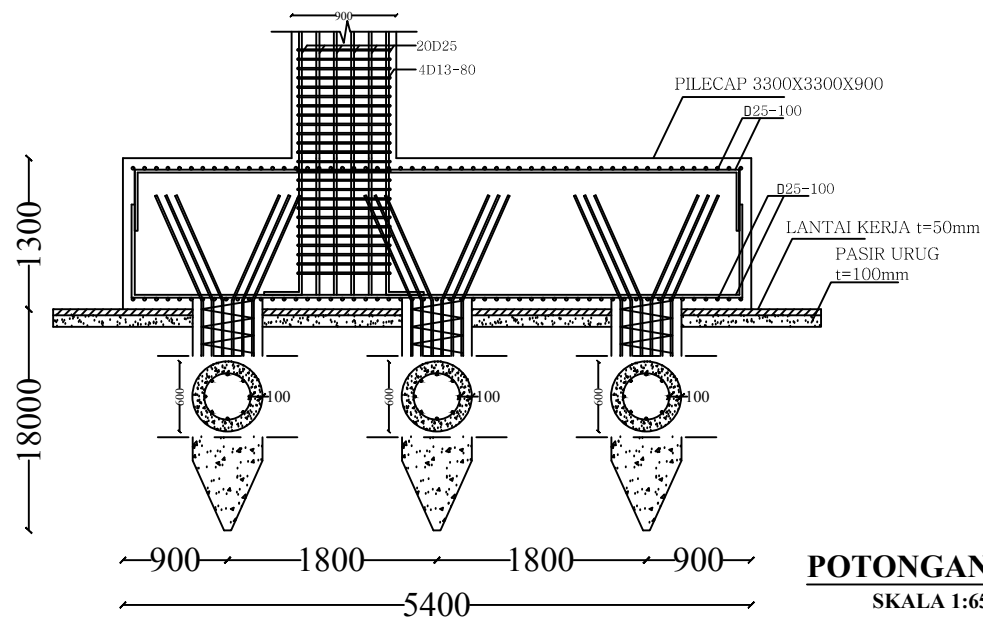
POTONGAN A-A
SKALA 1:50



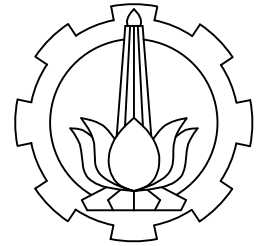
POTONGAN B-B
SKALA 1:50



PCL
SKALA 1:65



POTONGAN A-A
SKALA 1:65



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

TUGAS

TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

PROYEK

GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP : 195004031976031003

Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
NIP : 197003271997021001

MAHASISWA

ALDO ZULFIKAR INDO
NRP : 03111645000054

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Gedung Pendidikan
Lokasi	: Surabaya
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur f_y	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser f_y	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 30 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa
Selimum Beton	
- Pelat, Tangga, Bordes	: 20 mm
- Balok	: 40 mm
- Kolom, Sloof	: 50 mm
- Pondasi, Pile Cap	: 75 mm

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	41	41

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Aldo Zulfikar Indo, dilahirkan di Buton 21 Agustus 1994, merupakan putra tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Besole 05, SMPN Campur darat, dan SMAN 1 Boyolangu. Setelah lulus SMA tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan di Diploma III Teknik Sipil ITS. Di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi konsentrasi Bangunan Gedung dan lulus pada tahun

2016. Setelah lulus pendidikan diploma penulis kemudian melanjutkan kejenjang S1 Teknik Sipil ITS melalui program lintas jalur sampai tahun 2018. Penulis aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh kampus ITS. Penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan di beberapa kegiatan dan aktif dalam organisasi yang ada selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis sempat mengikuti kegiatan magang kerja di CV. Biru Bumi Hijau, Kalijudan, Surabaya. Selama masa perkuliahan penulis juga berhasil menemukan hasil penelitian tentang “Analisa Pembuatan Beton Geopolimer” tahun 2014. Sebuah Proyek Akhir berjudul *“Desain Modifikasi Struktur Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya Dengan Menggunakan Balok Pratekan Dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus”*. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk merencanakan bangunan gedung dengan balok pratekan dan tahan terhadap gempa. Komunikasi dengan penulis dapat dilakukan melalui aldozulfikarindo@gmail.com.